



**Universidade de Aveiro**  
**2013**

Departamento de Engenharia Civil

**Eliana Sofia de Silva  
Almeida**

**CASAS PASSIVAS: CONCEITO PASSIVHAUS EM  
CLIMAS MEDITERRÂNEOS**







**Universidade de Aveiro**  
**2013**

Departamento de Engenharia Civil

**Eliana Sofia da Silva  
Almeida**

## **CASAS PASSIVAS: CONCEITO PASSIVHAUS EM CLIMAS MEDITERRÂNEOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação da Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.





Dedico este trabalho aos meus pais, irmão, avó e namorado pelo apoio incondicional.





## **O júri**

Presidente

**Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho**

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof<sup>a</sup>. Doutora Maria Manuela de Oliveira Guedes de Almeida**

Professora associada do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

**Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente**

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof<sup>a</sup>. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**

Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação marca o fim de uma importante etapa da minha vida. Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram de forma decisiva para a sua concretização. Não sendo viável nomeá-los a todos, há no entanto alguns a quem não posso deixar de manifestar o meu apreço e agradecimento sincero.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Romeu Vicente e Professora Doutora Fernanda Rodrigues, agradeço toda a disponibilidade, a partilha de conhecimentos e as suas valiosas contribuições. O apoio, a motivação e a confiança depositada contribuíram decisivamente para que este trabalho tenha chegado a bom termo.

Aos meus colegas, Rui Grangeia, Rui Oliveira e Eng. António Figueiredo, pela ajuda, disponibilidade e apoio.

A todos os meus familiares, em especial aos meus pais, Dília Silva e Manuel Almeida, Irmão, Sobrinhos e Avó, por todo o apoio que me deram ao longo da vida, pela confiança depositada, pela compreensão e também pelo esforço que sempre revelaram, para que todas as metas a que me fui propondo fossem sendo atingidas.

Ao Mauro, pela sua presença na minha vida, pelo apoio diário e paciência que tem demonstrado, ajudando-me a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo desta vida académica.

A todos agradeço com a mais profunda gratidão!



**Palavras-chave**

necessidades energéticas, conforto térmico, baixo consumo energético, estudo paramétrico, *Passivhaus*

## Resumo

A presente dissertação aborda a viabilidade da aplicação do conceito *Passivhaus* para climas Mediterrâneos, incidindo este estudo, nas diferentes zonas climáticas de Portugal. O conceito *Passivhaus* tem como objetivo promover a criação de edifícios comprovadamente eficientes, sendo fundamental para se atingir as metas futuras estabelecidas pela Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (2010/31/EU, EPBD).

O estudo iniciou-se com a adaptação das soluções construtivas de um projeto corrente e representativo da arquitetura contemporânea, elaborado de acordo com as disposições regulamentares portuguesas, de forma a cumprir os requisitos da norma *Passivhaus*. A definição de soluções construtivas *Passivhaus* teve em conta a adaptabilidade à realidade construtiva portuguesa. Efetuou-se uma análise crítica e comparação dos resultados obtidos pela metodologia de balanço térmico do regulamento português Decreto-Lei 80/2006 e os resultados obtidos através da ferramenta “*Passive House Planning Package*”. Adicionalmente foi efetuado um estudo paramétrico da casa *Passivhaus* para Aveiro de forma a conseguir-se identificar quais as soluções ótimas a adotar de modo a cumprir com as exigências da norma *Passivhaus*. Este estudo aborda também a adaptabilidade para todas as diferentes zonas climáticas do país, sendo apresentadas duas soluções construtivas segundo a norma *Passivhaus* para uma zona climática fria e outra quente. Para finalizar foi executado um estudo económico, avaliando o tempo de retorno do investimento para todas as propostas da casa *Passivhaus* nas diferentes localidades analisadas neste estudo.

Em suma, este estudo apresenta e discute as ações de adaptabilidade necessárias às exigências da construção *Passivhaus*, atingindo um baixo consumo energético, uma excelente qualidade de ar interior e acima de tudo, um elevado conforto térmico.



**Keywords**

Energy demand, thermal comfort, low energy consumption, parametric study, Passivhaus



## Abstract

This thesis discusses the viability of applying the *Passivhaus* concept to Mediterranean climates focusing on different climatic zones of Portugal. The *Passivhaus* concept has the objective to promote construction of high energy efficient buildings, as they are essential to fulfill the future goals established by the Energy Performance of Buildings Directive (2010/31/UE, EPBD).

The study began by adapting common constructive solutions representing the contemporary architecture and accounting from the Portuguese laws, to the *Passivhaus* standard. The *Passivhaus* construction solutions took into account the Portuguese construction technology reality. A critical analysis was performed and the results obtained by the Portuguese thermal code DL 80/2006 were compared with the software package "Passive House Planning Package". Additionally, a parametric study for the *Passivhaus* house in Aveiro was performed enabling the identification of optimal solutions to adopt in order to comply with the *Passivhaus* requirements. This study also addresses the use of the standard on all different Portugal climate zones, with constructive solutions and systems being presented according to the *Passivhaus* standard, for colder and the and hotter regions. To finalize, an economic study was carried, evaluating the economic return time for the investment for all the *Passivhaus* examples presented.

Summarizing, this study presents and discusses the construction adaptability actions necessary to the *Passivhaus* compliance criteria, achieving low energy consumption, an excellent indoor air quality, and above all, exceptional thermal comfort.



# Índice Geral

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Índice Geral.....</b>                                       | <b>I</b>  |
| <b>Índice de Figuras .....</b>                                 | <b>V</b>  |
| <b>Lista de Acrónimos .....</b>                                | <b>XI</b> |
| <b>CAPÍTULO 1. Introdução.....</b>                             | <b>3</b>  |
| 1.1. Enquadramento geral .....                                 | 3         |
| 1.2. Objetivos .....                                           | 3         |
| 1.3. Metodologia .....                                         | 4         |
| 1.4. Estrutura da dissertação .....                            | 4         |
| <b>CAPÍTULO 2. Conceito Passivhaus .....</b>                   | <b>9</b>  |
| 2.1. Introdução .....                                          | 9         |
| 2.2. Princípios Passivhaus.....                                | 11        |
| 2.3. Certificação Passivhaus .....                             | 11        |
| 2.4. Viabilidade da casa Passivhaus em Portugal .....          | 13        |
| 2.4.1. Super isolamento .....                                  | 14        |
| 2.4.2. Eliminação das pontes térmicas.....                     | 19        |
| 2.4.3. Estanquidade ao ar .....                                | 21        |
| 2.4.4. Ventilação com sistema de recuperação de calor .....    | 24        |
| 2.4.5. Sistemas de envidraçados e portas .....                 | 26        |
| 2.4.6. Síntese da Viabilidade da Passivhaus em Portugal .....  | 29        |
| <b>CAPÍTULO 3. Descrição do Caso de Estudo.....</b>            | <b>33</b> |
| 3.1. Descrição arquitetónica do edifício .....                 | 33        |
| 3.2. Descrição das soluções construtivas .....                 | 35        |
| <b>CAPÍTULO 4. PHPP - Passive House Planning Package .....</b> | <b>41</b> |
| 4.1. "Verification" .....                                      | 41        |
| 4.2. "Climate data" .....                                      | 42        |
| 4.3. "U-values" .....                                          | 42        |
| 4.4. "U-list" .....                                            | 42        |
| 4.5. "Ground" .....                                            | 42        |
| 4.6. "Areas" .....                                             | 43        |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.7. "Win Type" .....                                           | 45        |
| 4.8. "Windows" .....                                            | 45        |
| 4.9. "Shading" .....                                            | 45        |
| 4.10. "Ventilation" .....                                       | 46        |
| 4.11. "Additional Vent" .....                                   | 47        |
| 4.12. "Annual heat demand" .....                                | 47        |
| 4.12.1. Perdas de calor .....                                   | 48        |
| 4.12.2. Ganhos de calor .....                                   | 49        |
| 4.12.3. Necessidade bruta de aquecimento anual .....            | 50        |
| 4.13. "Monthly Method" .....                                    | 51        |
| 4.14. "Heating Load" .....                                      | 51        |
| 4.15. "Shading-S" .....                                         | 51        |
| 4.16. "SummVent" .....                                          | 52        |
| 4.17. "Summer" .....                                            | 53        |
| 4.18. "Cooling" .....                                           | 53        |
| 4.19. "Cooling Units" .....                                     | 53        |
| 4.20. "Cooling Load" .....                                      | 54        |
| 4.21. "DHW + Distribution" .....                                | 54        |
| 4.22. "SolarDHW" .....                                          | 54        |
| 4.23. "Electricity" e "Aux Electricity" .....                   | 55        |
| 4.24. "Boiler" .....                                            | 55        |
| 4.25. "PE value" .....                                          | 55        |
| <b>CAPÍTULO 5. Casa Passivhaus em Aveiro.....</b>               | <b>59</b> |
| 5.1. Soluções construtivas .....                                | 59        |
| 5.1.1. Paredes exteriores.....                                  | 60        |
| 5.1.2. Pavimentos exteriores .....                              | 60        |
| 5.1.3. Pavimentos interiores .....                              | 61        |
| 5.1.4. Cobertura exterior .....                                 | 61        |
| 5.1.5. Pontes térmicas planas .....                             | 62        |
| 5.1.6. Pontes térmicas lineares .....                           | 62        |
| 5.1.7. Vãos envidraçados.....                                   | 64        |
| 5.1.8. Sistema de ventilação e sistema de coletores solar ..... | 64        |

|                                                                         |                                                            |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.                                                                    | Referências da Casa Passivhaus .....                       | 66         |
| 5.3.                                                                    | Estudo das estratégias ideais .....                        | 69         |
| 5.3.1.                                                                  | Influência das espessuras de isolamento .....              | 69         |
| 5.3.1.1.                                                                | Paredes .....                                              | 69         |
| 5.3.1.2.                                                                | Cobertura e pavimentos exteriores .....                    | 75         |
| 5.3.1.3.                                                                | Laje do desvão sanitário .....                             | 81         |
| 5.3.1.4.                                                                | Síntese .....                                              | 87         |
| 5.3.2.                                                                  | Influência dos envidraçados .....                          | 88         |
| 5.3.2.1.                                                                | Síntese .....                                              | 94         |
| 5.3.3.                                                                  | Influência das pontes térmicas lineares .....              | 96         |
| 5.3.3.1.                                                                | Síntese .....                                              | 97         |
| 5.3.4.                                                                  | Influência dos dispositivos de sombreamento no Verão ..... | 98         |
| 5.3.5.                                                                  | Influência da eficiência do sistema de ventilação .....    | 104        |
| 5.3.3.2.                                                                | Síntese .....                                              | 106        |
| 5.3.6.                                                                  | Influência da taxa de ventilação .....                     | 107        |
| 5.3.4.1.                                                                | Síntese .....                                              | 110        |
| 5.3.7.                                                                  | Influência da reorientação dos envidraçados a Sul.....     | 110        |
| 5.3.8.                                                                  | Influência da área envidraçada a Sul .....                 | 112        |
| 5.3.9.                                                                  | Influência dos ganhos internos .....                       | 113        |
| 5.3.10.                                                                 | Influência do “compactness factor” .....                   | 114        |
| 5.4.                                                                    | Considerações finais .....                                 | 116        |
| <b>CAPÍTULO 6. Estudo Paramétrico - Limitado ao Caso de Estudo.....</b> |                                                            | <b>123</b> |
| 6.1.                                                                    | Escolha das cidades – Zonas climáticas .....               | 123        |
| 6.2.                                                                    | Análise da casa Passivhaus .....                           | 125        |
| 6.2.1.                                                                  | Necessidade de aquecimento anual .....                     | 127        |
| 6.2.2.                                                                  | Carga de aquecimento .....                                 | 128        |
| 6.2.3.                                                                  | Necessidade de arrefecimento .....                         | 129        |
| 6.2.4.                                                                  | Carga de arrefecimento.....                                | 129        |
| 6.2.5.                                                                  | Necessidade de energia primária .....                      | 130        |
| 6.2.6.                                                                  | Risco de sobreaquecimento .....                            | 131        |
| 6.3.                                                                    | Viabilidade da casa Passivhaus em outras localidades ..... | 132        |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 7. Casa Passivhaus para diferentes zonas climáticas Portuguesas .....</b> | <b>137</b> |
| 7.1. Casa Passivhaus para Bragança .....                                              | 137        |
| 7.2. Casa Passivhaus para Évora .....                                                 | 139        |
| 7.2.1. Solução A .....                                                                | 140        |
| 7.2.2. Solução B .....                                                                | 142        |
| 7.2.2.1. Síntese .....                                                                | 145        |
| 7.3. Análise económica.....                                                           | 145        |
| 7.3.1. Síntese .....                                                                  | 149        |
| <b>CAPÍTULO 8. Conclusões .....</b>                                                   | <b>155</b> |
| 8.1. Breve descrição do trabalho .....                                                | 155        |
| 8.2. Conclusões principais .....                                                      | 155        |
| 8.2.1. Conceito Passivhaus .....                                                      | 155        |
| 8.2.2. Balanço energético pelo PHPP versus RCCTE.....                                 | 156        |
| 8.2.3. Adaptabilidade do conceito Passivhaus às zonas climáticas portuguesas...       | 156        |
| 8.2.4. Estudo económico .....                                                         | 157        |
| 8.3. Perspetivas futuras .....                                                        | 158        |
| <b>Referências Bibliográficas .....</b>                                               | <b>160</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                   | <b>163</b> |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Primeira Casa Passivhaus em Darmstadt, na Alemanha.....                                                                      | 10 |
| Figura 2: Esquema Princípios da Casa Passiva (Fonte: Passive House Institute) .....                                                    | 13 |
| Figura 3: Termografia antes (direita) e depois (esquerda) da reabilitação (Fonte: Passive House Institute) .....                       | 14 |
| Figura 4: Termografia a um interior de uma casa Passivhaus (Fonte: Passive House Institute).....                                       | 15 |
| Figura 5: Isolamento com efeito envelope (Fonte: Passive House Institute) .....                                                        | 16 |
| Figura 6: Graus-dia Inverno (Fonte: The Passivhaus standard in european warm climates) .....                                           | 17 |
| Figura 7: Graus-dia Verão (Fonte: The Passivhaus standard in european warm climates). 17                                               |    |
| Figura 8: Benefício do isolamento numa fachada a Norte - 1 a 2 cm (Fundamentos de la calificación energética de viviendas, IDAE) ..... | 17 |
| Figura 9: Benefício do isolamento numa fachada a Norte - 4 a 5 cm (Fundamentos de la calificación energética de viviendas, IDAE) ..... | 18 |
| Figura 10: Benefício do isolamento numa fachada a Norte - 7 a 8cm (Fundamentos de la calificación energética de viviendas, IDAE) ..... | 18 |
| Figura 11: Termografia identificando ponte térmicas (Fonte: PPH).....                                                                  | 20 |
| Figura 12: Dispositivo de correção da ponte térmica da laje com a varanda .....                                                        | 21 |
| Figura 13: Pormenor construtivo da membrana hermética (Fonte: Passive House Institute) .....                                           | 22 |
| Figura 14: Fita isoladora.....                                                                                                         | 22 |
| Figura 15: Blower door test .....                                                                                                      | 23 |
| Figura 16: Recuperador de calor (Fonte: Fenercom, 2011).....                                                                           | 24 |
| Figura 17: Sistema de ventilação com recuperador de calor (Fonte: IPHA).....                                                           | 25 |
| Figura 18: Corte de um envidraçado de alta qualidade e baixo coeficiente de transmissão térmico .....                                  | 27 |
| Figura 19: Coeficiente de transmissão térmico da janela passiva (Fonte: Passive House Institute).....                                  | 28 |
| Figura 20: Alçados do projeto modelo .....                                                                                             | 34 |
| Figura 21: Plantas do projeto modelo.....                                                                                              | 35 |
| Figura 22: Esquema PHPP (Fonte: Manual PHPP).....                                                                                      | 41 |
| Figura 23: Pormenor construtivo do desvão sanitário .....                                                                              | 43 |
| Figura 24: Envoltente térmica e estanque do edifício .....                                                                             | 44 |
| Figura 25: Obstrução horizonte .....                                                                                                   | 45 |
| Figura 26: Obstrução devido ao posicionamento de instalação da janela .....                                                            | 46 |
| Figura 27: Obstrução horizontal .....                                                                                                  | 46 |
| Figura 28: Diagrama do balanço energético .....                                                                                        | 48 |
| Figura 29: Exemplo de um pormenor da parede exterior .....                                                                             | 60 |
| Figura 30: Exemplo de um pormenor do pavimento exterior .....                                                                          | 61 |

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31: Exemplo de um pormenor do pavimento interior .....                                                                                       | 61 |
| Figura 32: Exemplo de um pormenor da cobertura exterior .....                                                                                       | 62 |
| Figura 33: Esquema do sistema de ventilação .....                                                                                                   | 64 |
| Figura 34: Traçado da rede de ventilação .....                                                                                                      | 65 |
| Figura 35: Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento anual de um edifício Standard (RCCTE) em comparação com uma conceção Passivhaus ..... | 68 |
| Figura 36: Necessidade de aquecimento anual em função da espessura de isolamento das paredes de envolvente exterior .....                           | 70 |
| Figura 37: Carga de aquecimento em função da espessura do isolamento das paredes da envolvente exterior .....                                       | 71 |
| Figura 38: Necessidade de arrefecimento anual em função da espessura de isolamento das paredes de envolvente exterior .....                         | 72 |
| Figura 39: Carga de arrefecimento em função da espessura do isolamento das paredes de envolvente exterior .....                                     | 73 |
| Figura 40: Necessidade de energia primária em função da espessura do isolamento das paredes de envolvente exterior .....                            | 74 |
| Figura 41: Risco de sobreaquecimento em função da espessura do isolamento das paredes de envolvente exterior .....                                  | 75 |
| Figura 42: Necessidade de aquecimento anual em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores .....                     | 76 |
| Figura 43: Carga de aquecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores .....                                 | 77 |
| Figura 44: Necessidade de arrefecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores .....                         | 78 |
| Figura 45: Carga de arrefecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores .....                               | 79 |
| Figura 46: Necessidade de energia primária em função da espessura de isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores .....                      | 80 |
| Figura 47: Risco de sobreaquecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores .....                            | 81 |
| Figura 48: Necessidade de aquecimento anual em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário .....                                  | 82 |
| Figura 49: Carga de aquecimento em função da espessura de isolamento na laje do desvão sanitário .....                                              | 83 |
| Figura 50: Necessidade de arrefecimento anual em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário .....                                | 84 |
| Figura 51: Carga de arrefecimento em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário .....                                            | 85 |
| Figura 52: Necessidade de energia primária em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário .....                                   | 86 |
| Figura 53: Risco de sobreaquecimento em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário .....                                         | 87 |



|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 54: Necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da solução envidraçada.....                                   | 90  |
| Figura 55: Carga de aquecimento e arrefecimento em função da solução envidraçada.....                                          | 91  |
| Figura 56: Perdas por transmissão e ganhos solares das soluções envidraçadas orientadas a Sul.....                             | 92  |
| Figura 57: Perdas por transmissão e ganhos solares das soluções envidraçadas orientadas a Este .....                           | 93  |
| Figura 58: Perdas por transmissão e ganhos solares das soluções envidraçadas orientadas a Oeste .....                          | 94  |
| Figura 59: Perdas, ganhos e necessidades de aquecimento ao longo do ano .....                                                  | 96  |
| Figura 60: Necessidade de aquecimento anual em função dos coeficientes de transmissão térmica lineares.....                    | 97  |
| Figura 61: Necessidade de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior .....                | 100 |
| Figura 62: Necessidade de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo interior.....                 | 100 |
| Figura 63: Carga de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior.....                       | 101 |
| Figura 64: Carga de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo interior .....                      | 102 |
| Figura 65: Taxa de sobreaquecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior .....                    | 103 |
| Figura 66: Taxa de sobreaquecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo interior.....                     | 103 |
| Figura 67: Necessidade de aquecimento anual em função da eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor .....    | 105 |
| Figura 68: Carga de aquecimento em função da eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor .....                | 105 |
| Figura 69: Necessidade de energia primária em função da eficiência do sistema ventilação com recuperação de calor .....        | 106 |
| Figura 70: Necessidade de aquecimento e arrefecimento anual em função da taxa de ventilação.....                               | 107 |
| Figura 71: Carga de aquecimento em função da taxa de ventilação .....                                                          | 108 |
| Figura 72: Necessidade de energia primária em função da taxa de ventilação .....                                               | 109 |
| Figura 73: Risco de sobreaquecimento em função da taxa de ventilação .....                                                     | 110 |
| Figura 74: Necessidade de aquecimento e arrefecimento em função da reorientação dos envidraçados a Sul no quadrante O-S-E..... | 111 |
| Figura 75: Carga de aquecimento e arrefecimento em função da reorientação dos envidraçados a Sul.....                          | 112 |
| Figura 76: Carga de aquecimento em função da área envidraçada a Sul para duas condições atmosféricas diferentes .....          | 113 |
| Figura 77: Carga de aquecimento em função dos ganhos internos .....                                                            | 114 |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 78: Necessidade de aquecimento e arrefecimento anual em função do fator de forma .....         | 115 |
| Figura 79: Carga de aquecimento e arrefecimento em função do fator de forma .....                     | 116 |
| Figura 80: Balanço energético da solução Passivhaus para Aveiro .....                                 | 117 |
| Figura 81: Balanço energético do edifício Standard .....                                              | 118 |
| Figura 82: Zonas Climáticas Inverno e Verão (Fonte: RCCTE).....                                       | 123 |
| Figura 83: Localização das cidades (Fonte: Google Earth) .....                                        | 124 |
| Figura 84: Análise das temperaturas mínimas e máximas atingidas nas diferentes localidades .....      | 125 |
| Figura 85: Análise dos graus de aquecimento hora nas diferentes localidades .....                     | 126 |
| Figura 86: Necessidades de aquecimento anuais para diferentes localidades.....                        | 127 |
| Figura 87: Carga de aquecimento para diferentes localidades .....                                     | 128 |
| Figura 88: Necessidades de arrefecimento anual para diferentes localidades .....                      | 129 |
| Figura 89: Carga de arrefecimento para diferentes localidades .....                                   | 130 |
| Figura 90: Necessidade de energia primária para diferentes localidades.....                           | 131 |
| Figura 91: Risco de sobreaquecimento para diferentes localidades.....                                 | 132 |
| Figura 92: Tempo de retorno do investimento adicional da casa Passivhaus para Aveiro                  | 148 |
| Figura 93: Tempo de retorno do investimento adicional da casa Passivhaus para Bragança .....          | 148 |
| Figura 94: Tempo de retorno do investimento adicional da casa Passivhaus para Évora – Solução A ..... | 148 |
| Figura 95: Tempo de retorno do investimento adicional da casa Passivhaus para Évora – Solução B ..... | 149 |
| Figura 96: Influência dos custos ao longo do ciclo de vida do edifício (Adaptado: IPHA) .....         | 151 |
| Figura 97: Planeamento integral .....                                                                 | 151 |

## Índice de Tabelas

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1: Coeficientes de transmissão térmica dos envidraçados (Fonte: Passive House Institute).....                                     | 27  |
| Tabela 2: Descrição da parede exterior .....                                                                                             | 36  |
| Tabela 3: Descrição da parede interior .....                                                                                             | 37  |
| Tabela 4: Descrição do pavimento exterior .....                                                                                          | 37  |
| Tabela 5: Descrição do pavimento interior .....                                                                                          | 38  |
| Tabela 6: Descrição da cobertura exterior .....                                                                                          | 38  |
| Tabela 7: Coeficiente de condutibilidade térmica e capacidade calorífica de solos (Fonte: Manual PHPP) .....                             | 43  |
| Tabela 8: Média da carga de produção de calor interno (Fonte: PHPP) .....                                                                | 50  |
| Tabela 9: Carga de aquecimento (Fonte: PHPP) .....                                                                                       | 51  |
| Tabela 10: Fator de redução para sombreamento temporário com soluções envidraçadas de baixa emissividade (Fonte:PHPP) .....              | 52  |
| Tabela 11: Exemplo de pontes térmicas lineares da casa Passivhaus .....                                                                  | 63  |
| Tabela 12: Referências da casa Passivhaus para Aveiro .....                                                                              | 66  |
| Tabela 13: Soluções envidraçadas utilizadas no estudo paramétrico .....                                                                  | 89  |
| Tabela 14: Fatores de redução dos diferentes tipos de dispositivos de sombreamento no Verão .....                                        | 99  |
| Tabela 15: Seleção das cidades em estudo .....                                                                                           | 124 |
| Tabela 16: Referências da casa Passivhaus para Bragança .....                                                                            | 138 |
| Tabela 17: Redução da necessidade de aquecimento anual em função de cada proposta efetuada para a casa Passivhaus em Bragança.....       | 138 |
| Tabela 18: Requisitos da casa Passivhaus para Bragança .....                                                                             | 139 |
| Tabela 19: Referências da casa Passivhaus para Évora – Solução A.....                                                                    | 140 |
| Tabela 20: Redução do risco de sobreaquecimento em função de cada proposta efetuada para a casa Passivhaus em Évora - solução A .....    | 141 |
| Tabela 21: Redução da necessidade de arrefecimento em função de cada proposta efetuada para a casa Passivhaus em Évora - solução A ..... | 141 |
| Tabela 22: Requisitos da casa Passivhaus para Évora – Solução A.....                                                                     | 142 |
| Tabela 23: Referências da casa Passivhaus para Évora – Solução B .....                                                                   | 143 |
| Tabela 24: Redução do risco de sobreaquecimento em função de cada proposta efetuada para a casa Passivhaus em Évora - solução B .....    | 143 |
| Tabela 25: Redução da necessidade de arrefecimento em função de cada proposta efetuada para a casa Passivhaus em Évora - solução B ..... | 144 |
| Tabela 26: Requisitos da casa Passivhaus para Évora – Solução B .....                                                                    | 144 |
| Tabela 27: Custo casa Passivhaus versus casa Standard .....                                                                              | 146 |
| Tabela 28: Valores atualizados para o ano 2013 do preço da eletricidade, gás, taxas de inflação e de juro .....                          | 147 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 29: Necessidades de energia e elétrica e gás das propostas para casa Passivhaus nas diferentes localidades ..... | 147 |
| Tabela 30: Necessidades de energia e elétrica e gás para casa Standard nas diferentes localidades .....                 | 147 |

## **Lista de Acrónimos**

PHPP - Passive House Planning Package

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive

NZEB - Nearly Zero Energy Building

IPH - Institute Passive House

IPHA - International Passive House Association



# Capítulo 1

## Introdução

---

---

## Capítulo 1. Introdução

- 1.1. Enquadramento geral
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Metodologia
- 1.4. Estrutura da dissertação



---

# CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento geral

A utilização de combustíveis fósseis perdura há aproximadamente 100 anos. Os seus efeitos nocivos, a escassez da matéria-prima e a crise económica mundial, fazem com que aumente a investigação na área do recurso às energias renováveis e a uma otimização da conceção dos edifícios, para que diminua a sua dependência energética até 90%.

Em Portugal, o sector residencial, representa cerca de 30% do consumo energético, evidenciando a necessidade de se moderar o consumo neste setor. Uma das causas deste grande consumo de energia reside no elevado parque edificado existente com uma eficiência energética deficiente [1]. Deste modo, torna-se cada vez mais importante a implementação de medidas regulamentares que obriguem à reabilitação energética dos edifícios existentes. Por outro lado, os edifícios novos devem ser projetados com base no conceito passivo de modo a proporcionar uma elevada *performance* e conforto térmico.

A Diretiva EPBD, 2010/31/EU [2] enuncia a meta ambiciosa da obrigatoriedade de até 2020, que todos os novos edifícios construídos terão que ter necessidades energéticas nominais muito próximas de zero (*Nearly Zero Energy Building*). Utilizando o conceito *Passivhaus*, combinado com uma instalação de energia renovável, é possível atingir as metas estabelecidas para os NZEB, alcançando edifícios comprovadamente eficientes.

## 1.2. Objetivos

De entre vários objetivos propostos nesta dissertação, o fundamental é avaliar a viabilidade de aplicação do conceito *Passivhaus* para o clima português, nomeadamente para diferentes regiões do país, comparando a validade deste conceito para climas temperados do Sul da Europa.

Também fazem parte desta dissertação os seguintes objetivos: i) análise crítica e comparação das metodologias de balanço térmico do RCCTE [3] e do PHPP [4]; ii) definição de soluções construtivas compatíveis com os requisitos *Passivhaus* adaptáveis à realidade construtiva portuguesa; iii) estudo paramétrico da casa *Passivhaus* para Aveiro;

iv) adaptabilidade do caso de estudo em diferentes zonas climáticas, bem como o seu estudo económico.

### **1.3. Metodologia**

Para a elaboração deste estudo será proposto um projeto representativo da arquitetura contemporânea à escala do edifício unifamiliar, elaborado de acordo com as disposições regulamentares portuguesas, situado na região de Aveiro. Neste projeto serão adaptadas as soluções construtivas nas quais se integram os conceitos da *Passivhaus* adaptadas às regiões climáticas de Portugal.

O estudo paramétrico começa pela análise energética através do PHPP (Passive House Planning Package) [4], posteriormente comparada com os resultados obtidos através do RCCTE (Reglamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios), DL 80/2006 [3].

Para que se consiga identificar quais as soluções ótimas a utilizar de forma a cumprir com as exigências da norma *Passivhaus*, será feito um estudo paramétrico no qual será avaliada a influência das soluções construtivas e outras variáveis, sobre as necessidades energéticas finais e primárias.

O modelo proposto será alvo de estudo para diferentes regiões climáticas do país de modo a verificar-se a sua viabilidade. Para que atinja os requisitos da *Passivhaus* serão identificados aspetos e disposições cruciais do projeto, na conceção e na execução, para as quais serão adaptadas soluções de acordo com as zonas climáticas estudadas.

### **1.4. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação encontra-se estruturada em 8 Capítulos e anexos, distinguindo-se pelos vários assuntos que nela são abordados.

O Capítulo 1 é a presente introdução, onde se apresenta um enquadramento geral ao tema principal da dissertação, descrevem-se os objetivos, enuncia-se a metodologia de trabalho e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 é reunida informação relativa ao estado de arte nesta área, descrevendo detalhadamente o conceito *Passivhaus*. Neste Capítulo são apresentados os pontos-chave necessários para a compreensão do tema da dissertação, tais como, os seus

princípios e as exigências necessárias para a obtenção da certificação *Passivhaus* e dissuasão de aspetos de adaptabilidade ao clima de países do Sul da Europa.

No Capítulo 3 é feita a descrição arquitetónica e das soluções construtivas de que é composto o caso de estudo.

No Capítulo 4 é apresentado o procedimento de cálculo da ferramenta PHPP, bem como uma descrição de cada uma das folhas de cálculo e comparação com a regulamentação nacional.

No Capítulo 5 são detalhadas as exigências construtivas necessárias para a obtenção da casa *Passivhaus* para Aveiro. Também é apresentado um estudo paramétrico de forma a identificar quais as soluções ótimas e como as adotar para cumprir os requisitos da norma *Passivhaus*.

No Capítulo 6 procede-se ao estudo paramétrico limitado ao caso de estudo, na qual será abordada a viabilidade da implantação da casa *Passivhaus* para Aveiro e ainda em diferentes zonas climáticas de Portugal.

No Capítulo 7 são apresentadas duas propostas para a casa *Passivhaus*, uma para um clima frio e outra para um clima quente do território nacional, bem como será feita uma análise económica de todas as propostas efetuadas para este estudo.

Finalmente, no Capítulo 8 são sistematizadas todas as conclusões principais obtidas mediante a análise do estudo realizado e ainda as propostas de trabalhos futuros.



## Capítulo 2

Conceito *Passivhaus*

---

---

## **Capítulo 2. Conceito *Passivhaus***

2.1. Introdução

2.2. Princípios *Passivhaus*

2.3. Certificação *Passivhaus*

2.4. Viabilidade da casa *Passivhaus* em Portugal

2.4.1. Super isolamento

2.4.2. Eliminação das pontes térmicas

2.4.3. Estanquidade ao ar

2.4.4. Ventilação com sistema de recuperação de calor

2.4.5. Sistemas de envidraçados e portas

2.4.6. Síntese da viabilidade da *Passivhaus* em Portugal

---

---

## CAPÍTULO 2. CONCEITO *PASSIVHAUS*

### 2.1. Introdução

O conceito *Passivhaus*, após 21 anos desde a construção do primeiro conjunto de casas passivas e de mais de 40.000 edifícios construídos segundo este conceito, continua a evoluir e a mudar a forma como se concebe, planeia e constrói edifícios. Ultimamente a expansão e adaptação da metodologia *Passivhaus* a diferentes climas, tipologias construtivas, tem evoluindo de forma exponencial, impulsionado ainda pela preocupação do uso racional da energia e da sustentabilidade da construção.

O modo como se processa a forma de construir ao abrigo do conceito *Passivhaus* não é mais do que a forma otimizada do exercício enquanto engenheiros e arquitetos. Este conceito não é restrito a uma tipologia construtiva ou nível de qualidade de construção. As preocupações subjacentes ao, conforto térmico, com a complexidade dos vários parâmetros que entram em "jogo" na sua definição, sejam eles a ventilação, qualidade da envolvente opaca e translúcida, ganhos solares, estanquidade, humidade relativa etc., são objeto de grande rigor no procedimento *Passivhaus*.

Com a utilização de combustíveis fósseis, vários aparelhos mecânicos e elétricos foram desenvolvidos com o fim de aquecer, ventilar, arrefecer e iluminar o espaço interior dos edifícios. Os profissionais da mecânica projetaram e especificaram sistemas de climatização para diferentes tipos de edifícios. O clima da envolvente exterior deixou de ser o principal moderador do clima interior, assim a arquitetura deixou de se preocupar com esta vertente, pois a temperatura desejável no interior era atingida independentemente da do exterior através de sistemas de climatização [5].

Com a crise do petróleo em 1973, os arquitetos e engenheiros perceberam que teria de haver redução quanto à dependência dos combustíveis fósseis, levando à criação de uma arquitetura que consegue moderar as condições interiores consoante as estações do ano através do desenho de projeto. Descobriram então os princípios do controlo ambiental através da manipulação da forma do edifício, do desempenho térmico dos materiais e das aberturas, desenvolvendo então o conceito de "desenho passivo" e de construção bioclimática [5].

O tradicional conceito de "desenho passivo" evoluiu e foi na Alemanha que ganhou força. Em 1988 o Professor Adamson e o Professor Feist começaram o seu projeto de investigação "*Passivhaus*", da qual resultou a construção de um edifício piloto no ano 1990 situado em Darmstadt, na Alemanha [5].



Figura 1: Primeira Casa Passivhaus em Darmstadt, na Alemanha

Esta construção resultou em quatro moradias multifamiliares, tendo sido ocupadas em 1991. Os requisitos desta construção "protótipo" a nível da eficiência energética, são fruto de exaustiva investigação científica e realização de estudos paramétricos desenvolvidos para este fim. Foram produzidas janelas termicamente eficientes, reduzidas as ponte térmicas e a qualidade de ar foi garantida através de uma ventilação regulada. Estas casas foram alvo de monitorização, obtendo-se assim informações sobre a eficiência do seu isolamento, janelas, sistema de recuperação de calor, ventilação, qualidade do ar interior, funcionalidade, entre outras. Após a análise dos dados da monitorização, concluiu-se que este edifício piloto possui um bom funcionamento em todos os elementos essenciais, até aos dias de hoje. Nesta construção registou-se uma poupança de 90%, em comparação à construção tradicional, sendo que o consumo de energia em aquecimento manteve-se inferior a 10 kWh/(m<sup>2</sup> ano) [5, 6].

A *Passivhaus* é presentemente, um conceito que tem ganho vários adeptos por toda a Europa, contando com 40.000 construções com esta "*marca Passivhaus*", em alguns países nórdicos foi adotada como obrigatória. Este é um conceito que se pretende adaptar



aos diferentes climas do mundo, havendo registros de projetos em casos de climatologia mais extrema, como no Japão e na Coreia do Norte [6].

## 2.2. Princípios *Passivhaus*

Após cinco anos da construção da primeira casa *Passivhaus*, em 1995, baseados na experiência obtida nos primeiros casos de estudo, Wolfgang Feist classificou os conceitos passivos adotados nas primeiras construções, como metodologia *Passivhaus*. A metodologia consiste em três princípios fundamentais:

- Limitação do consumo de energia (necessidade de aquecimento e arrefecimento);
- Requisito de qualidade (conforto térmico);
- Uso otimizado de sistemas passivos que permitam uma eficiência energética e de qualidade a um custo não muito elevado [7].

## 2.3. Certificação *Passivhaus*

Para que um edifício seja classificado de casa passiva, ou seja, que possua um certificado “Quality-Approved Passive House”, terá que ser qualificado na fase de projeto e após a conclusão da obra. Esta certificação é feita pelo *Passivhaus Institute* ou por outra entidade credenciada. O edifício só recebe esta certificação se cumprir todos os requisitos exigidos. Estes variam com a utilização dada, se é para habitação ou para serviços, ou caso se trate de uma construção nova ou reabilitação. O balanço térmico e energético das suas soluções adotadas é obtido através da “Passive House Planning Package” (PHPP) [4].

A atual metodologia *Passivhaus* define critérios de exigência, para os países da Europa central que consistem em:

- Critério de aquecimento: as necessidades de aquecimento não podem exceder o limite de 15 kWh/(m<sup>2</sup> ano);
- Critério de arrefecimento: as necessidades de arrefecimento não podem exceder o limite de 15 kWh/(m<sup>2</sup> ano);
- Critério de energia primária: o consumo de energia de todos os equipamentos elétricos, incluindo o aquecimento do ambiente e águas quentes sanitárias não deverá exceder o limite de 120 kWh/(m<sup>2</sup> ano);

- Estanquidade do ar: deve ser efetuado um teste de pressurização na envolvente do edifício de acordo com a norma EN 13829, em que o resultado não deve exceder  $0,6 \text{ h}^{-1}$ .
- Critério de conforto da temperatura interior no Inverno: a temperatura no interior do edifício deve ser mantida acima dos  $20^{\circ}\text{C}$  [7].

Na Europa central (ex. Alemanha, Áustria, etc.) o desenho passivo é associado à metodologia *Passivhaus*, o que não acontece com os países do Sul da Europa (ex. Espanha, Portugal, Itália e Grécia). Nestes países para a maioria dos arquitetos e engenheiros, o conceito de casa passiva geralmente significa qualquer casa construída segundo os princípios do desenho solar passivo. Muitos profissionais da área discordam ao associar-se o termo genérico "passivo" com uma norma específica de edifícios, que propõe o uso de um sistema ativo de ventilação[7].

Tomando em consideração as variações climáticas e filosóficas mencionadas anteriormente, em 2007, o projeto Passive-On elaborou uma proposta de revisão para a aplicação do conceito *Passivhaus* em climas quentes da Europa [7].

As propostas feitas pelo projeto Passive-On para climas quentes da Europa são:

- Critério de aquecimento: as necessidades de aquecimento não podem exceder o limite de  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})$ ;
- Critério de arrefecimento: as necessidades de arrefecimento não podem exceder o limite de  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})$ ;
- Critério de energia primária: o consumo de energia de todos os equipamentos elétricos, incluindo o aquecimento do ambiente e da água quente sanitária não deverá exceder o limite de  $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})$ ;
- Estanquidade do ar: a qualidade do ar interior e o elevado nível de conforto térmico é obtido através de um sistema ativo de ventilação, pelo que a envolvente deve cumprir o teste de pressurização ( $50 \text{ Pa}$ ), de acordo com a norma EN 13829, em não mais de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Quando a sua localização possui condições de projeto com temperaturas acima dos  $0^{\circ}\text{C}$ , o teste de pressurização tem um limite até  $1 \text{ h}^{-1}$ , sendo suficiente para se atingir o critério de aquecimento.
- Critério de conforto da temperatura interior no Inverno: a temperatura no interior do edifício deve ser mantida acima dos  $20^{\circ}\text{C}$ .

- Critério de conforto da temperatura interior no Verão: a temperatura no interior do edifício deve permanecer no intervalo de conforto definida na norma EN 15251, se existir um sistema arrefecimento ativo consegue-se manter a temperatura abaixo dos 26°C não permitindo uma excedência da temperatura de 26°C num intervalo de tempo superior a 10% durante a estação de arrefecimento [7].

## 2.4. Viabilidade da casa *Passivhaus* em Portugal

A aplicação da metodologia *Passivhaus* nos países do Sul da Europa, como Portugal, pode parecer interessante, mas levanta algumas dúvidas, nomeadamente pelas diferenças climáticas. A necessidade de arrefecimento não assume um papel de grande importância na Alemanha, mas é uma realidade nos países do Sul. A intenção do *Passive House Institute* é que seja um conceito aplicável a todo o mundo de acordo com o tipo de clima. Para isso estão a ser desenvolvidos estudos em vários países para que sejam encontrados critérios de certificação adaptáveis a cada realidade climática [6].

A casa passiva baseia-se em sete princípios base:

- Super isolamento;
- Eliminação das pontes térmicas;
- Estanquidade ao ar;
- Ventilação com sistema de recuperação de calor;
- Janelas e portas de alta *performance* térmica;
- Otimização dos ganhos solares e dos ganhos internos;
- Balanço energético através do programa PHPP.

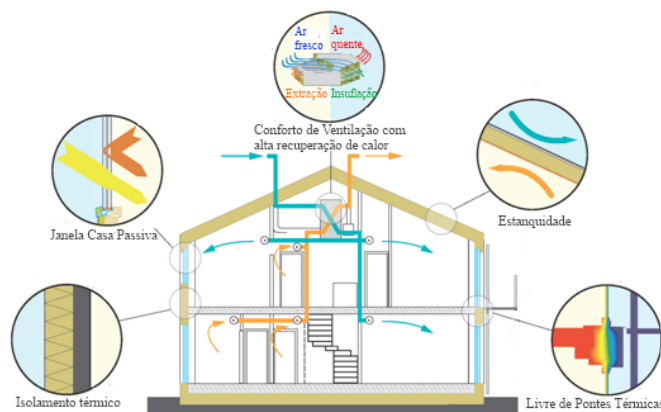


Figura 2: Esquema Princípios da Casa Passiva (Fonte: Passive House Institute)

De seguida analisam-se alguns destes princípios mais importantes.

### 2.4.1. Super isolamento

A envolvente térmica do edifício é essencial para a manutenção do conforto térmico do espaço interior.

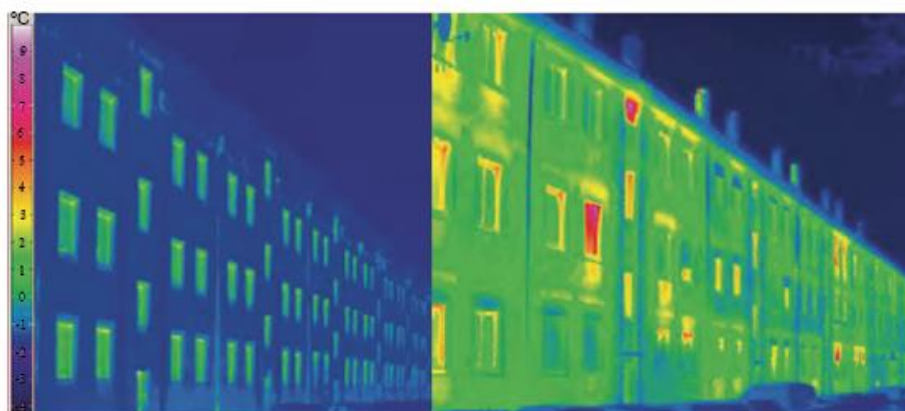


Figura 3: Termografia antes (direita) e depois (esquerda) da reabilitação (Fonte: Passive House Institute)

O edifício representado na Figura 3 foi reabilitado aplicando o conceito *Passivhaus*. A termografia ilustra de forma bem clara o benefício da utilização do super isolamento, através do esquema de cores, em que as mais vivas revelam fugas de calor.

Pelo princípio do super isolamento utilizado nas casas passivas, o seu isolamento evita que haja perdas de calor no seu interior, consequentemente evitando consumos energéticos excessivos para o seu aquecimento [8].

O coeficiente de transmissão térmico,  $U$  [ $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ], de todos os elementos opacos exteriores deve ser inferior a  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  [9].

O pavimento comporta-se como um elemento de elevada inércia térmica. Para se atingir este coeficiente de transmissão térmico não é necessário uma espessura de isolamento tão elevada como nas paredes e coberturas, tendo em consideração que a temperatura do solo oscila pouco durante todo o ano, assim sendo, terá reduzidas perdas térmicas [9].

As coberturas são os locais de maior exposição ao ambiente exterior durante todo o ano, necessitando geralmente de uma espessura de isolamento superior ao das paredes exteriores. A colocação do isolamento depende da utilização do desvão de cobertura (caso exista) e do tipo de cobertura [9].

Para que se cumpra os requisitos da metodologia *Passivhaus* no caso das paredes, devem estas ter uma definição mais exigente e cuidadosa, sendo esta envolvente a mais propícia às trocas de calor. No Inverno as paredes da envolvente exterior reduzem as perdas de calor para o exterior, ajudando a que a temperatura interior se mantenha durante mais tempo e consequentemente reduzindo as necessidades de aquecimento. No Verão evita que haja transferências de calor do exterior para o interior, armazenando energia durante o dia, sendo durante a noite dissipada através de estratégias de ventilação.

Para que este critério de conforto térmico, para o caso da Alemanha, seja cumprido ter-se-á que colocar na envolvente exterior em média 0,30 m de isolamento [9].

O princípio mais importante de uma *Passivhaus* é a aplicação do isolamento contínuo pelo exterior, na envolvente do edifício, minimizando assim as pontes térmicas e reduzindo significativamente as perdas e ganhos de calor. Assim, a temperatura das superfícies internas é quase a mesma que a temperatura do ar interior, conduzindo a uma temperatura interior muito confortável e reduzindo a assimetria de temperaturas dos espaços (ver Figura 4). Para que se garanta o conforto térmico durante o Verão, recorre-se a dispositivos de sombreamento, a bom nível de isolamento e ao uso de um revestimento de baixa emissividade bem como a uma ventilação eficiente [10].

A termografia apresentada na Figura 4 ilustra o interior de uma casa passiva, onde se pode observar que a temperatura média do parâmetro interior de uma parede da envolvente exterior é aproximadamente 20°C [9].

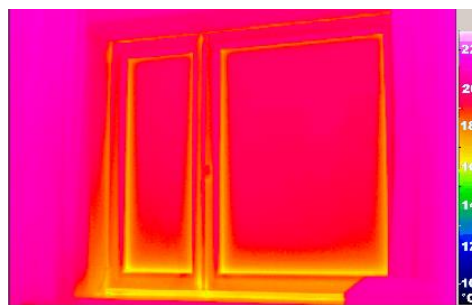


Figura 4: Termografia a um interior de uma casa *Passivhaus* (Fonte: Passive House Institute)

A generosa espessura do isolamento térmico é o primeiro aspeto que evidencia a construção de uma casa *Passivhaus*. Este aspeto cria uma necessidade de promover a familiarização com o novo processo construtivo, bem como ter atenção a pequenos detalhes, como a instalação das janelas ou as ligações entre elementos construtivos, de modo a que se consigam compatibilizar estas espessuras de isolamento. Visto que se está perante processos menos comuns à grande parte da indústria da construção, de modo a obter uma correta construção deve existir um planeamento rigoroso das operações e uma adequada qualificação da mão-de-obra (ver Figura 5) [11].

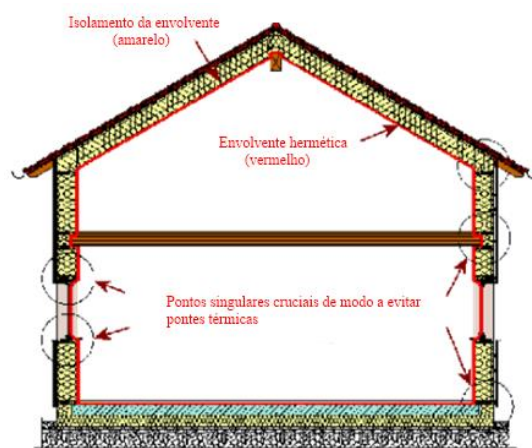


Figura 5: Isolamento com efeito envelope (Fonte: Passive House Institute)

O critério de conforto térmico a cumprir na metodologia *Passivhaus* é igualmente exigente para o clima de Portugal e restantes climas Mediterrâneos. É evidente a existência de vantagens para o Centro da Europa, onde o clima no Inverno é bastante rigoroso existindo necessidades de aquecimento muito grandes. O conceito de super isolamento deve ser adotado mas deverá ser reajustado para os países mais quentes, para os quais a utilização de cerca de 0,30 m de espessura de isolamento é demasiado excessiva, visto que as temperaturas registadas na Alemanha, país onde foi desenvolvido o conceito, em nada se comparam com os climas Mediterrâneos.

A Figura 6 e Figura 7 indicam os graus-dia no Inverno e no Verão em todo o território Europeu. Quanto maior for o graus-dia de aquecimento e de arrefecimento, mais elevadas serão as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Pode-se observar que as temperaturas atingidas em Portugal no Inverno são mais elevadas do que no Centro da

Europa, o mesmo acontecendo na estação de arrefecimento em que as temperaturas também são mais elevadas.

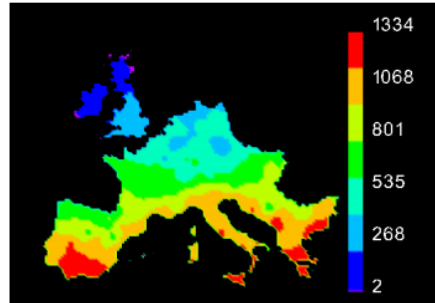


Figura 6: Graus-dia Inverno (Fonte: The Passivhaus standard in european warm climates)

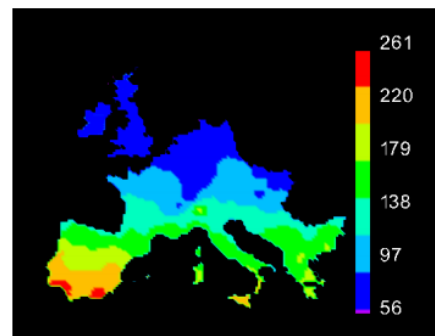


Figura 7: Graus-dia Verão (Fonte: The Passivhaus standard in european warm climates)

Segundo um estudo paramétrico efetuado para a Espanha analisou-se a espessura ótima do isolamento para paredes orientadas a Norte (ver Figura 8, 9 e 10).

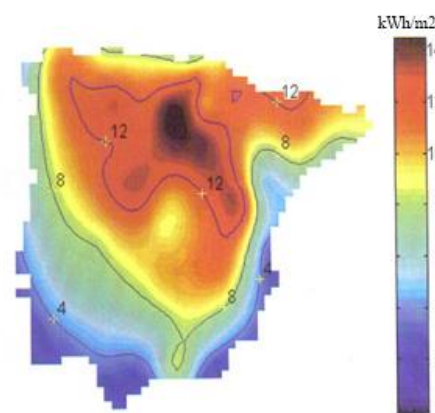


Figura 8: Benefício do isolamento numa fachada a Norte - 1 a 2 cm (Fundamentos de la calificación energética de viviendas, IDAE)

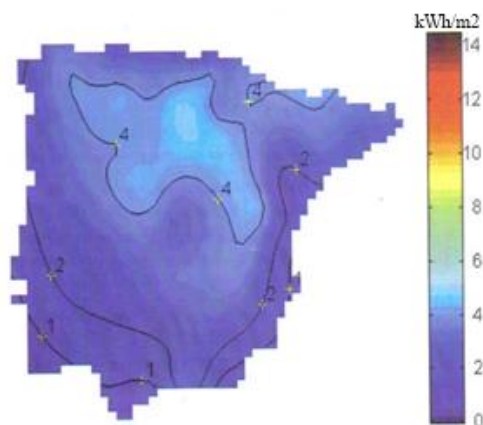


Figura 9: Benefício do isolamento numa fachada a Norte - 4 a 5 cm (Fundamentos de la calificación energética de viviendas, IDAE)

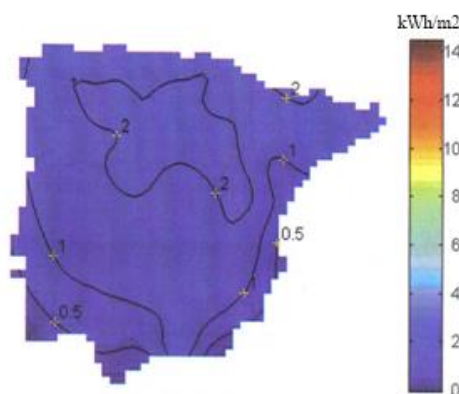


Figura 10: Benefício do isolamento numa fachada a Norte - 7 a 8cm (Fundamentos de la calificación energética de viviendas, IDAE)

Em cada uma das figuras anteriores duplicou-se a espessura do isolamento térmico de modo a analisar o seu benefício numa fachada a Norte. Na Figura 8 o benefício obtido com a utilização do isolamento com 1 a 2 cm de espessura é significativo, mas quando se aumenta para espessuras de 4 a 5 cm, Figura 9, é visível que houve uma melhoria significativa. Quando se compara a Figura 10 com a Figura 9 verifica-se que já não houve grande benefício energético, para além disso, a espessura quase que duplicou aumentando assim o custo do isolamento.

Verifica-se que o aumento da espessura do isolamento traz benefícios, mas a partir de uma certa dimensão, o benefício que se obtém deixa de ser significativo, constituindo uma desvantagem, isto é, quanto maior a espessura de isolamento mais cara fica a solução construtiva, sem benefício em termos de poupança de energia, assinalável.



Após esta análise, verifica-se que 0,30 m de espessura é extremamente excessivo. Com uma espessura mais baixa consegue-se atingir o mesmo objetivo, visto que as temperaturas no Inverno em Portugal, não são tão baixas como no Centro da Europa. O sobreaquecimento seria outro problema que se teria de enfrentar se se adotassem espessuras tão elevadas nos edifícios. No Verão atingem-se temperaturas mais elevadas, consequentemente ter-se-ia que recorrer a sistemas de refrigeração para manter uma temperatura de conforto no interior do edifício.

A estratégia da Passive-On para Portugal indica que seria de utilizar 0,15 m de isolamento na cobertura e 0,10 m nas paredes, atingindo coeficientes de transmissão térmica de 0,23 W/(m<sup>2</sup> K) e 0,32 W/(m<sup>2</sup> K), respetivamente. O isolamento do pavimento não deverá ser feito na totalidade, devendo utilizar-se uma faixa de 1 m, localizada debaixo do pavimento em todo o perímetro do edifício, permitindo assim que o centro da casa dissipe calor para o solo durante o Verão. O isolamento total do pavimento é benéfico para países frios como a Alemanha [7].

Conclui-se que a aplicação da metodologia *Passivhaus* é bastante benéfica para países do centro da Europa e climas similares, mas para que possa ser extensível a um leque maior, deverá contemplar as características do clima de cada país.

#### 2.4.2. Eliminação das pontes térmicas

As pontes térmicas distinguem-se em lineares, planas, convectivas e pontuais. Estas são zonas de ligação entre diferentes elementos da envolvente de um edifício (irregularidades geométricas) que, geralmente se caracterizam por um aumento no fluxo de calor (ver Figura 11) [12].

A existência de pontes térmicas na envolvente dos edifícios potencia um aumento das perdas através da envolvente durante a estação de aquecimento devido à sua menor resistência térmica, e podem originar patologias associadas à diminuição da temperatura superficial (condensações) [8].

Todos os cantos, conexões e penetrações devem ser planeados e executados com grande detalhe para que as pontes térmicas sejam evitadas. As pontes térmicas que não se consigam evitar devem ser minimizadas tanto quanto possível de modo a reduzir as perdas de energia [8].

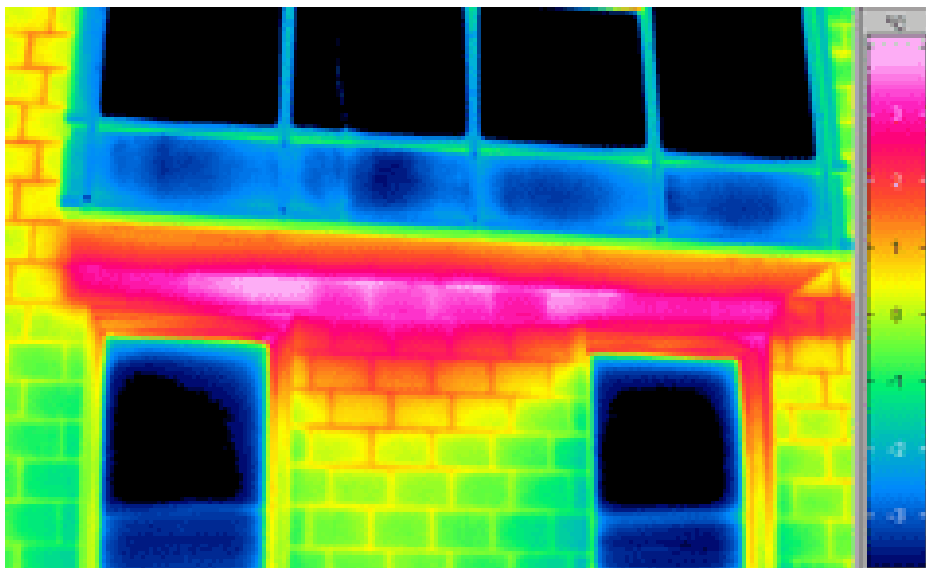


Figura 11: Termografia identificando ponte térmicas (Fonte: PPH)

De seguida listam-se algumas medidas a tomar de modo a minimizar as pontes térmicas:

- Especificar e desenhar pormenores construtivos que sirvam de apoio à execução;
- Aplicação do isolamento térmico de forma contínua pelo exterior do edifício;
- Quando não há possibilidade de colocar o isolamento de forma contínua deverá escolher-se um material com maior resistência térmica;
- Instalar as janelas no plano da camada isolante;
- Envolver parte da caixilharia da janela com o isolante [13].

Quando é aplicado um isolamento pelo exterior com uma espessura de 0,30 m qualquer ponte térmica plana ou linear que exista deixa de ser significativa, sendo o coeficiente de transmissão térmica nessa zona, ligeiramente superior. As pontes térmicas fazem parte integrante da conceção do edifício, sendo possível minimizar os seus efeitos com isolamento pelo exterior ou adotando técnicas construtivas, mas nunca é possível eliminá-las.

Uma forma de evitar pontes térmicas é conceber uma arquitetura compacta, com o mínimo de reentrâncias e saliências por forma a minimizar a superfície exterior. Ou seja, tendo como base o menor valor do fator de forma. Este é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente (exterior e interior) e o volume interior. A forma do edifício define a sua envolvente exterior, local onde ocorrem as perdas térmicas. Concebendo um edifício tendo em conta o seu fator de forma mínimo, garante-se uma redução das pontes térmicas, associadas à geometria do edifício.

Em Portugal a maioria das construções possuem varandas, constituindo pontes térmicas. A *Passivhaus* incentiva o uso de dispositivos que isolam a zona de transição da laje de pavimento com a laje da varanda. O preço desta solução é elevado e oneroso necessitando de mão-de-obra qualificada. Também se questiona a resistência destas soluções quando aplicados num país com exigências sísmicas, como Portugal.

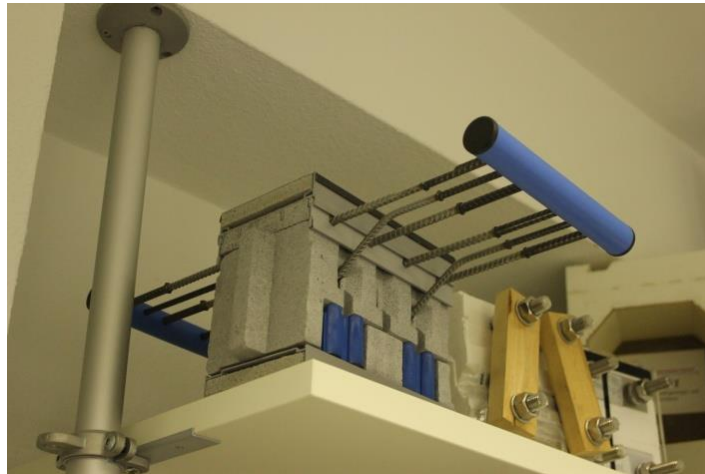


Figura 12: Dispositivo de correção da ponte térmica da laje com a varanda

#### 2.4.3. Estanquidade ao ar

Outro princípio base da *Passivhaus*, independentemente dos sistemas construtivos utilizados, é garantir uma elevada estanquidade ao ar, evitando que o ar seja conduzido pelo vento ou pelas variações de temperatura através da envolvente exterior. A entrada de ar indesejado pode aumentar ou baixar significativamente a temperatura do edifício, comprometendo o conforto e causando ainda desconforto pelas correntes de ar [14].

De modo a alcançar o nível de estanquidade exigido deve ser utilizada uma membrana estanque ao ar, compatibilizada com cada elemento construtivo (ver Figura 13). Dependendo do tipo de construção, estas membranas podem ser em madeira, em chapa de alumínio, membranas pára-vapor ou qualquer outro material que possua uma boa capacidade de impermeabilização e, acima de tudo deve ser garantida uma correta execução. Quando a membrana de estanquidade ao ar é interrompida deve ser utilizada fita-isoladora de modo a criar uma barreira hermética contínua (ver Figura 14) [15].



Figura 13: Pormenor construtivo da membrana hermética (Fonte: Passive House Institute)



Figura 14: Fita isoladora

Os problemas associados à falta de controlo das infiltrações são:

- Condensações: a diferença de temperatura entre o ar húmido interior e o ar que provém das infiltrações pode conduzir ao desenvolvimento de bolor;
- Desequilíbrio da ventilação mecânica: a ventilação controlada consiste num fluxo de ar constante, a quantidade de ar que entra é igual ao ar que sai; quando entra ar por outros meios cria uma descompensação no sistema;
- Perda da *performance* do recuperador de calor: o ar que entra pelas zonas mal seladas baixa a temperatura do ar interior [8].

De modo a calcular a capacidade de estanquidade ao ar é efetuado um teste de pressurização na envolvente do edifício, não podendo a taxa de renovação de ar exceder 0,6 renovações por hora a uma diferença de pressão de 50 Pa [8].

O teste de pressurização a realizar denomina-se por "blower door test" (ver Figura 15) e, deve ser executado na fase de aplicação da membrana de estanquidade e na fase final da construção. Este teste consiste na colocação de um ventilador uma das portas da envolvente exterior provocando uma diferença de pressão de 50 Pa. Durante este processo todas as portas e janelas devem permanecer fechadas, com a exceção das portas interiores. Este mesmo processo é efetuado do exterior para o interior e vice-versa. Será de evitar a sua realização quando as condições climáticas estiverem desfavoráveis, como por exemplo, quando se registem ventos fortes, pois pode interferir nos resultados finais [8].



Figura 15: Blower door test

Associada à estanquidade do ar, está a ventilação. Pelo princípio da *Passivhaus* a habitação deverá tornar-se o mais estanque possível de modo a que não haja trocas de ar com o exterior. Desta forma a qualidade do ar interior não é garantida, tendo que se adotar um sistema de ventilação ativo para o fazer. Para os climas mais frios esta será a forma de poupar no consumo energético para o aquecimento. Nos climas quentes a estratégia de tornar o edifício hermético, para além de haver consumo com o equipamento de ventilação, nas estações quentes poderá conduzir a problemas de sobreaquecimento se não houver

dispositivos de sombreamento. Deve-se privilegiar, tanto quanto possível a ventilação natural.

A construção praticada em Portugal é na sua maioria diferente dos países do centro e norte da Europa, não fazendo sentido a utilização da membrana de estanquidade ao ar, características de sistemas de construção leve. A estanquidade da construção tradicionalmente praticada em Portugal é assegurada pelos rebocos.

#### 2.4.4. Ventilação com sistema de recuperação de calor

A ventilação com recuperador de calor é outra exigência da *Passivhaus*, que deverá ser contínua, principalmente nos períodos em que o clima é mais rigoroso (no caso dos climas frios acontecerá em quase 3/4 do ano), de modo a garantir a qualidade do ar interior. Estes sistemas devem ser altamente eficientes, de baixo consumo, com baixas taxas de renovação (0,3 renovações por hora) e com bom isolante acústico. Na casa passiva é exigido que pelo menos 75% do calor de exaustão é transferido para o ar fresco (ar insuflado) por meio de um permutador de calor [8].

O permutador aproveita o calor do ar de saída para aquecer o ar de entrada. Este sistema consiste na recuperação de energia dos fluxos de ar de saída proveniente das casas de banho e cozinhas, passando através de um permutador de calor. O ar quente de saída cruza-se, sem se misturar, com o ar de entrada que vai aquecer as restantes divisões (ver Figura 16 e Figura 17) [8].

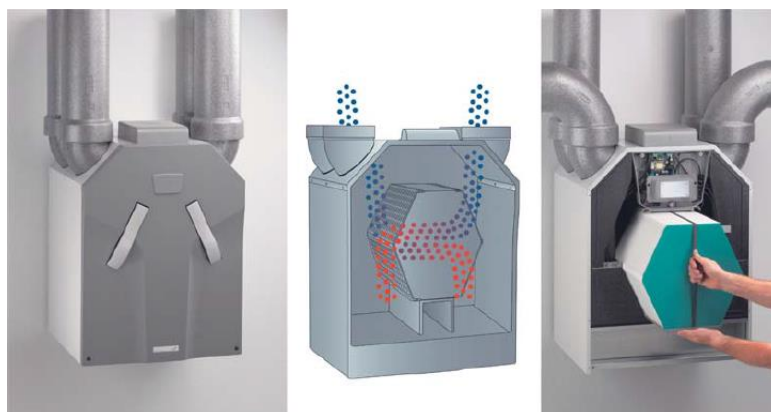


Figura 16: Recuperador de calor (Fonte: Fenercom, 2011)

Deve-se efetuar um controlo do ar renovado de modo quantificável e eficaz, de forma a garantir a salubridade de todos habitantes, eliminando-se os excessos de concentração de CO<sub>2</sub>, a proliferação de bactérias e fungos, maus odores, etc. [8].

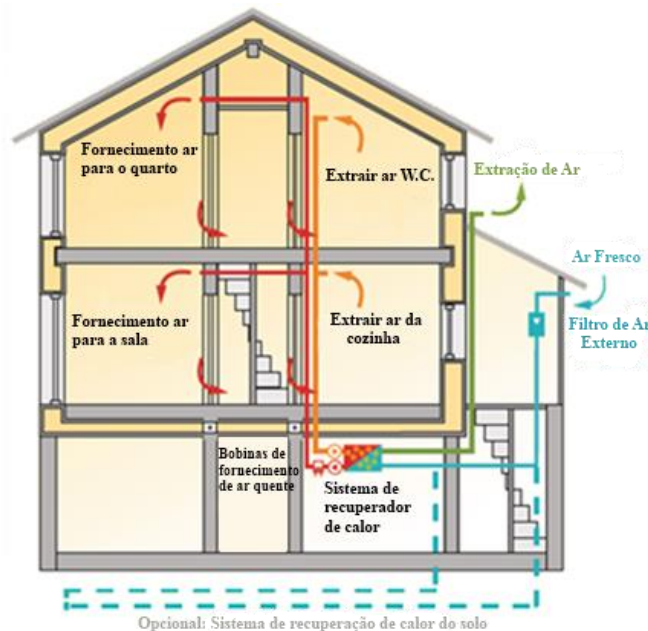


Figura 17: Sistema de ventilação com recuperador de calor (Fonte: IPHA)

Nos meses mais frios, o calor recuperado pelo recuperador de calor pode ser insuficiente para atingir a temperatura de conforto desejada. Assim, instala-se uma bomba de calor de reduzida potência (300 a 500 W) como sistema de apoio nos dias mais frios, para ajudar a aquecer o ar entrado [16].

A temperatura do ar de entrada fornecido pelo gerador não deve ser inferior a 17°C, de modo a proporcionar uma temperatura uniforme a todas as áreas e atingindo a gama de conforto, que se encontra entre os 20 e os 25°C [9].

Para além deste sistema de ventilação mecânico deve existir uma janela que possa abrir para o exterior em cada compartimento [9].

Nos países mais quentes é viável a utilização da ventilação com recuperação de calor, a diferença será na instalação de uma bomba reversível, para que nos meses mais quentes inverta o sistema, refrigerando o ar de entrada para o edifício [16].

Nos países Mediterrâneos, com a utilização de vãos generosos a Sul e uma massa térmica considerável para captar e armazenar os ganhos solares, consegue-se gerir melhor

os ganhos solares reduzindo assim as necessidades de aquecimento, pelo que poderia ser dispensada a aplicação de sistemas com recuperador de calor. A ventilação natural também deve ser privilegiada nestes países, tal como é permitido pela metodologia *Passivhaus*. Na estação de arrefecimento é uma forma muito fácil e sem custos para renovar o ar interior, atingindo assim uma temperatura interior agradável. Para além da poupança na compra do sistema de recuperação de calor, usufruindo do clima ameno do país, através duma arquitetura passiva poupa-se também nas necessidades de aquecimento [17].

No Verão, em Portugal deve ser privilegiada o *free cooling* e o *night flushing*, obtendo-se assim uma boa qualidade de ar, evitando o risco de sobreaquecimento. Através desta estratégia cumpre-se a exigência imposta pela *Passivhaus*.

#### 2.4.5. Sistemas de envidraçados e portas

Os vãos das habitações são as zonas mais débeis sob o ponto de vista de desempenho energético de toda a envolvente, sendo por isso também os mais estudados. De modo a que sejam estanques são utilizadas juntas duplas e vidros com capas de baixa emissividade, duplos ou triplos que por vezes incorporam gases no preenchimento da câmara-de-ar, com a finalidade de se melhorar os respetivos coeficientes de transmissão térmica (ver Figura 18) [8].

As janelas de alta qualidade são uma componente essencial para uma casa passiva. As janelas (vidro e caixilharia) não devem exceder um coeficiente de transmissão térmico de  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . A temperatura da superfície da janela, no interior do edifício, nos meses mais frios não deverá ser inferior a  $17^\circ\text{C}$ , sem o recurso à utilização de radiadores sob as janelas [14].

A caixilharia desempenha um papel especialmente importante, representando cerca de 30 a 40% da área total da janela. As perdas de calor através duma caixilharia convencional são entre  $1,5$  a  $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , sendo duas vezes maior que a zona envidraçada. Porém com a incorporação de isolamento, com a correta instalação e posicionamento da janela consegue-se obter um  $U$  de  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  (ver Tabela 1) [14].

Para climas frios os requisitos para as janelas é possuir vidro triplo com capas de baixa emissividade e caixilharia com isolamento incorporado. Em climas mais quentes a



utilização de um vidro duplo com capa de baixa emissividade e a caixilharia com corte térmico será suficiente para cumprir os requisitos mínimos [14].

As janelas e portas utilizadas numa casa *Passivhaus* são de alta qualidade e presentemente existem vários modelos já certificados pelo Institute Passive House (IPH), estando a ser produzidas e fornecidas por mais de 50 fabricantes.

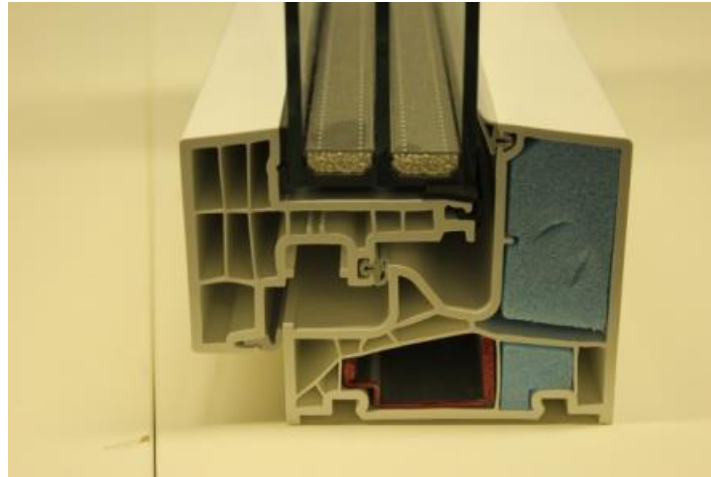


Figura 18: Corte de um envidraçado de alta qualidade e baixo coeficiente de transmissão térmico

Tabela 1: Coeficientes de transmissão térmica dos envidraçados (Fonte: Passive House Institute)

| Tipo de Envidraçado                                                       | $U_w$ [W/(m <sup>2</sup> K)] |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Vidro Simples                                                             | 5.7                          |
| Vidro Duplo                                                               | 2.8                          |
| Vidro Triplo                                                              | 1.9                          |
| Vidro triplo com capa de baixa emissividade                               | 1.4                          |
| Vidro triplo com capa de baixa emissividade e preenchimento a árgon       | 1.2                          |
| Vidro triplo com duas capas de baixa emissividade e preenchimento a árgon | 0.8                          |
| Vidro com espaço de ar "sob vácuo"                                        | 0.5                          |
| Vidro de 20 mm de aerogel                                                 | 0.3                          |

O cálculo do coeficiente de transmissão térmico da janela é calculado à luz da metodologia *Passivhaus*, tendo em conta as características do envidraçado, da caixilharia e da instalação (ver Figura 19).

O coeficiente de transmissão térmico da janela,  $U_w$ , é calculado com base na seguinte fórmula:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \Psi_g + l_{inst.} \times \Psi_{inst.}}{A_g + A_f} \quad (2.1)$$

em que:

$A_g$  - Área zona envidraçada;

$U_g$  - Coeficiente de transmissão térmico da zona envidraçada;

$A_f$  - Área da caixilharia;

$U_f$  - Coeficiente de transmissão térmico da caixilharia;

$l_g$  - Perímetro da zona envidraçada;

$\Psi_g$  - Condutividade térmica linear do vidro;

$l_{inst.}$  - Perímetro da conexão entre a caixilharia e a parede;

$\Psi_{inst.}$  - Condutividade térmica linear da conexão entre a caixilharia e a parede [9].

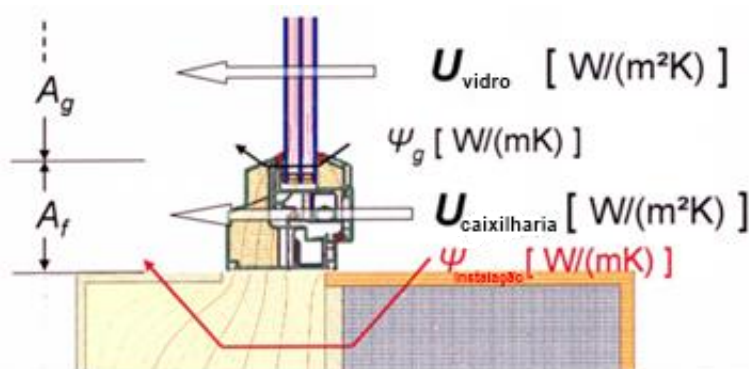


Figura 19: Coeficiente de transmissão térmico da janela passiva (Fonte: Passive House Institute)

Em Portugal deve ser utilizada uma caixilharia de boa qualidade. A utilização de um vidro duplo com caixilharia com corte térmico e envidraçado com capa de baixa emissividade, bem instalada será suficiente para cumprir os requisitos mínimos da *Passivhaus* ( $U_w \leq 15 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$  e  $\Psi_{instalação} = 0,04 \text{ W/(m °C)}$ ).

#### 2.4.6. Síntese da Viabilidade da *Passivhaus* em Portugal

O conceito da *Passivhaus* surgiu para responder aos requisitos de uma Europa Central relativamente fria. No Sul da Europa o clima é mais ameno, embora as casas necessitem de ser aquecidas no Inverno. Também é complementado pela necessidade de assegurar condições de conforto no Verão, sendo por vezes o fator dominante em alguns casos.

Com o sucesso da *Passivhaus* na Europa central, o projeto Passive-On procurou determinar quais os elementos da metodologia que poderiam ser úteis para promoção de casas de baixo consumo energético no sul da Europa. O estudo efetuado verificou que em certas regiões as soluções adotadas pela metodologia *Passivhaus* podem servir de base efetiva para proporcionar casas energeticamente eficientes, devendo nomeadamente tomar-se algumas medidas de modo a reduzir o impacto provocado pela radiação solar. A investigação também aponta que alguns requisitos da metodologia *Passivhaus* podem ser demasiado exagerados para o Sul da Europa. Como por exemplo, o limite da permeabilidade da envolvente do edifício ( $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ ), obrigando à utilização de um sistema ativo para a ventilação. Contudo, em Portugal e Espanha consegue-se construir casas efetivamente de baixo consumo energético sem a necessidade de um sistema de ventilação ativo e com critérios menos exigentes para a envolvente dos edifícios.

O estudo feito para Portugal pela Passive-On, consistiu em definir um modelo simplificado de uma habitação com  $110 \text{ m}^2$ , localizando-o em Lisboa. As suas necessidades anuais de aquecimento foram estimadas em  $16,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ , dessas  $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  são fornecidos pelo sistema de painéis solares, que para além do aquecimento das águas quentes sanitárias, também contribuem para aquecimento do ambiente através de um sistema hidráulico de calor de baixa temperatura. As necessidades de arrefecimento foram de  $3,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Com este estudo conclui-se que as estratégias adotadas na implementação de uma casa passiva em Lisboa pode ter sucesso a níveis de conforto e permite atingir os limites de necessidades energéticas nominais preconizadas pela *Passivhaus*.

A viabilidade económica da *Passivhaus* em Portugal é outra questão crucial na solução proposta pela Passive-On. Foi estimado um acréscimo de  $57 \text{ €/m}^2$ , com um período de retorno do investimento estimado em 12 anos [13]. O preço da construção em Portugal já se encontra muito elevado, comparado com o rendimento médio dos trabalhadores, questionando-se assim a adesão a este conceito de casas passivas.

Na estratégia deste estudo não se utilizou o sistema de ventilação mecânico adotado nos países de climas mais frios, tendo sido adotadas soluções de modo a otimizar os ganhos solares na estação de aquecimento e de ventilação natural para o arrefecimento [13]. A ventilação da casa pode ser efetuada totalmente de modo passivo, mas será mais sensível a variações de temperatura no seu interior [18].

A construção de uma casa passiva em climas mais quentes torna-se uma tarefa mais difícil do que no centro da Europa. Isto, porque há a preocupação do arrefecimento no Verão, visto que os ganhos solares têm um peso muito significativo nestes países. Por outro lado, mediante estes ganhos solares os requisitos solicitados são menos exigentes podendo assim existir um leque maior de opções construtivas de modo a compensar o aquecimento [18].

Na construção cada vez há mais preocupação na utilização de materiais mais ecológicos e que tenham uma pegada ecológica menor. A metodologia *Passivhaus* reduz eficazmente os gastos energéticos, uma das preocupações em todo o mundo, mas num futuro próximo terá que desenvolver outro tipo de materiais mais ecológicos e que cumpram com os mesmos requisitos, pendendo mais, e inevitavelmente, para o lado "mais verde".

A metodologia *Passivhaus* é possível de implementar nos países mediterrâneos com a existência de algumas adaptações ao clima, atingindo-se um edifício confortável, com um baixo consumo energético e associados a um baixo custo de ciclo de vida. [18]

## Capítulo 3

Descrição do caso de estudo

---

---

## Capítulo 3. Descrição do caso de estudo

- 3.1. Descrição arquitetónica do edifício
- 3.2. Descrição das soluções construtivas

---

## CAPÍTULO 3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

### 3.1. Descrição arquitetónica do edifício

O edifício em estudo para avaliação, parametrização e implantação de uma casa *Passivhaus* nas várias zonas climáticas de Portugal consiste numa moradia unifamiliar isolada, situada a uma altitude aproximada de 17m em Verdemilho, Aradas - Concelho de Aveiro, zona climática I<sub>1</sub>-V<sub>1</sub>.

A fração autónoma única composta por habitação unifamiliar de tipologia T3 que se desenvolve em rés-do-chão mais 1º andar, ambos úteis. O r/chão é composto por uma sala, uma cozinha, hall, caixa de escadas e uma instalação sanitária. O 1º Andar é composto por um hall, três quartos e duas instalações sanitárias. A área útil é de 136,0 m<sup>2</sup> e o pé direito médio ponderado é de 2,51 m. Existem quatro espaços não-úteis – a lavandaria, um arrumo, o desvão sanitário e a garagem, mas apenas a garagem e o desvão confinam com a zona útil.

A habitação foi projetada para atingir bons níveis de desempenho energético e conforto térmico e ir de encontro às expectativas dos utentes. A envolvente está bem isolada e a inércia da construção é forte. O projeto pretende assegurar as exigências de conforto térmico no interior do edifício, sem um dispêndio excessivo de energia e, simultaneamente, garantir a inexistência de condensações que possam diminuir a durabilidade e o desempenho térmico dos elementos da envolvente do edifício. A cobertura plana apresenta superfície de cor clara e as fachadas, superfícies de cores claras e escuras. O edifício foi orientado por forma a retirar o máximo partido da radiação solar. Foram assim projetadas as maiores áreas envidraçadas com a orientação a Sul por forma a otimizar os ganhos solares (ver Figura 20 e Figura 21). A área envidraçada corresponde a cerca de 24% da área opaca do edifício. Os envidraçados orientados a Norte perfazem uma percentagem em relação à área total envidraçada de 26%, a Sul de 47%, a Este de 25% e a Oeste de 2%.

Os painéis solares serão instalados na cobertura plana com azimuth Sul e com a inclinação de 35°, não ocorrendo sombreamento relevante provocado por outros edifícios a não ser pelo edifício a construir ao lado (confrontação nascente). Este sistema é apoiado por uma caldeira mural a gás natural.

A caixilharia adotada é constituída por perfis de alumínio com corte térmico e vidro duplo. Os dispositivos de sombreamento dos vãos envidraçados permitem um controlo eficaz dos ganhos na estação de arrefecimento e apresentam cor clara (proteção pelo interior). Não está prevista a instalação de ventilação mecânica – apenas um extrator de fumos na cozinha de utilização intermitente (não contabilizado para efeitos de cálculo).

O sistema de climatização é composto por uma caldeira mural a gás natural para aquecimento que proporciona 100% das  $N_{ic}$  e por uma máquina frigorífica com  $EER$  3 para arrefecimento que proporciona 100% das  $N_{vc}$  (consideração por defeito no cálculo térmico segundo o RCCTE – DL 80/2006 [3]).

O local de implantação corresponde à periferia de uma zona urbana, sendo abrangido pela rede de gás natural.



Figura 20: Alçados do projeto modelo



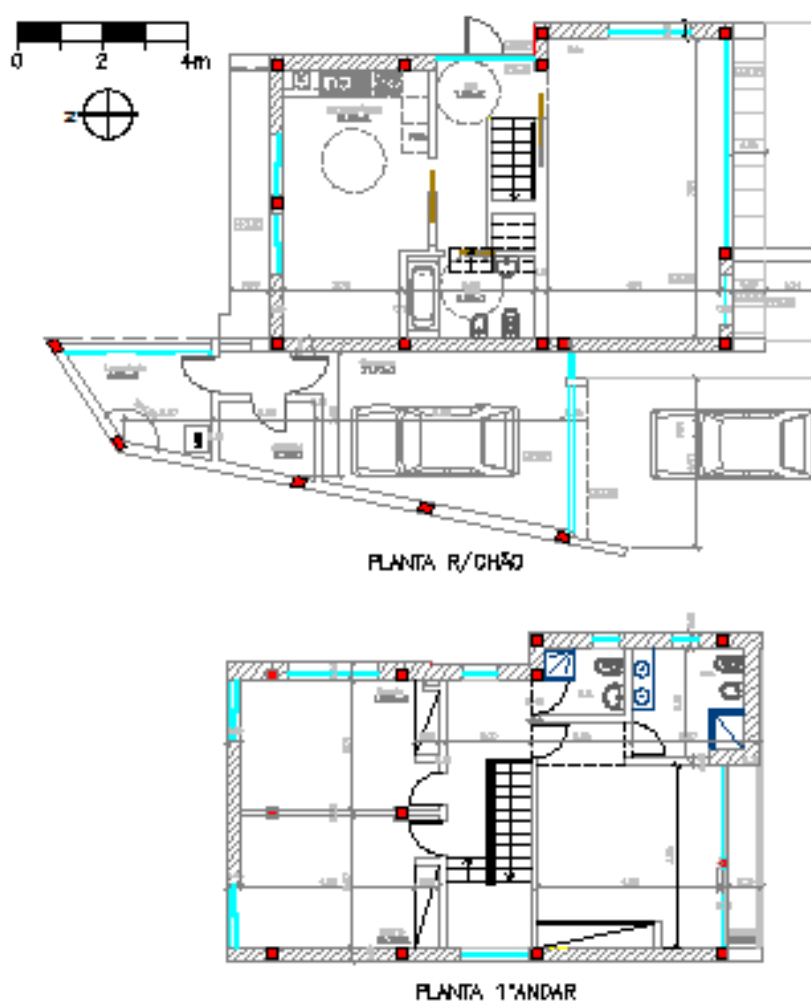


Figura 21: Plantas do projeto modelo

### 3.2. Descrição das soluções construtivas

O projeto em estudo trata-se de uma moradia representativa da construção contemporânea, possuindo uma arquitetura moderna de formas simples e generosas áreas envidraçadas, com um fator de forma de  $0,8 \text{ m}^{-1}$ .

As soluções construtivas adotadas neste projeto são de prática corrente em Portugal, como por exemplo as paredes duplas em tijolo cerâmico de furação horizontal com caixa-de-ar semi-preenchida com isolamento. De seguida, na Tabela 2, 3, 4, 5 e 6 são descritas as soluções construtivas principais das zonas correntes desta construção, os restantes pormenores construtivo, incluindo o das pontes térmicas, encontram-se no anexo A.

Tabela 2: Descrição da parede exterior

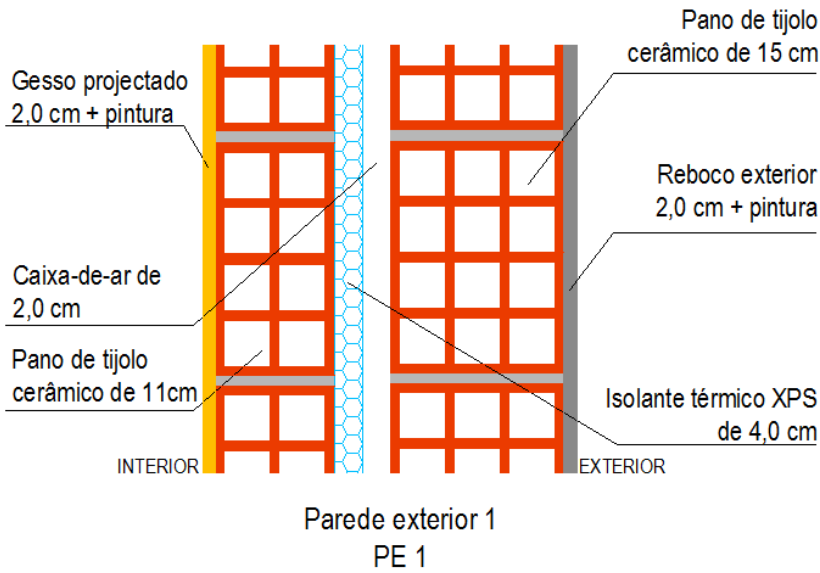
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Parede exterior</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>As paredes exteriores da fachada serão executadas em alvenaria dupla, constituída por tijolo furado de 15cm no pano exterior, caixa-de-ar de 5 cm semi-preenchida com isolamento em poliestireno extrudido expandido de 4 cm de espessura e tijolo furado de 11cm no pano interior. A face exterior é rebocada com argamassa de cimento e areia com a espessura de 2cm e na face interior é revestida com gesso projetado com 2cm de espessura. O isolamento em poliestireno extrudido expandido será fixo ao pano interior.</p> |
|  <p>Diagrama de corte transversal da Parede exterior 1 (PE 1). A parede é composta por dois panos de tijolo cerâmico furado. O lado interior (à esquerda) possui um revestimento de gesso projetado de 2,0 cm com pintura. O lado exterior (à direita) possui um reboco exterior de 2,0 cm com pintura. Entre os dois panos de tijolo, há uma caixa-de-ar de 2,0 cm, que é semi-preenchida com um isolante térmico XPS de 4,0 cm de espessura. O tijolo do lado interior tem 11 cm de altura, e o do lado exterior tem 15 cm de altura. O diagrama é rotulado "Parede exterior 1" e "PE 1" na base.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Tabela 3: Descrição da parede interior

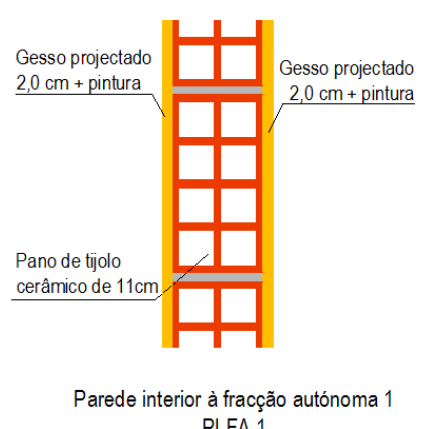
|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Parede interior</b>                                                                                                                                                                                                                                              | As paredes interiores serão em alvenaria simples, executadas com tijolo cerâmico furado de 11cm, devidamente rebocadas com argamassa de areia e cimento com a espessura de 2cm. |
|  <p>Gesso projectado 2,0 cm + pintura</p> <p>Gesso projectado 2,0 cm + pintura</p> <p>Pano de tijolo cerâmico de 11cm</p> <p>Parede interior à fracção autónoma 1<br/>PI FA 1</p> |                                                                                                                                                                                 |

Tabela 4: Descrição do pavimento exterior

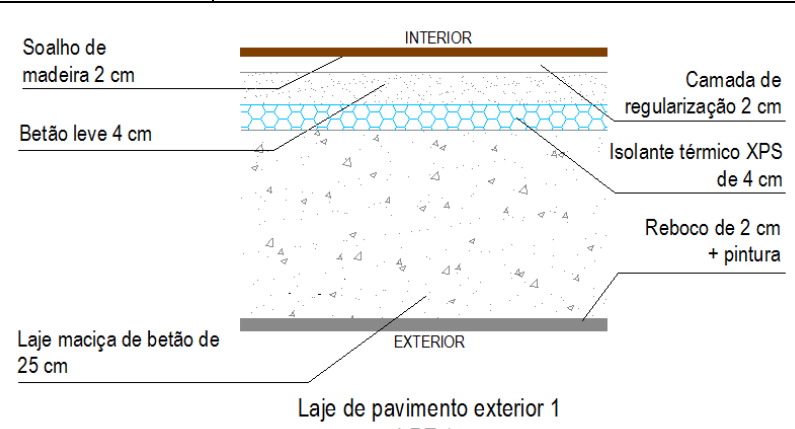
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pavimento exterior<br/>(zona de varandas)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Os pavimentos exteriores serão executados com uma laje maciça de 25 cm, isolante em poliestireno extrudido expandido de 4 cm de espessura, betão leve de 4 cm e camada de regularização de 2 cm. A face exterior é rebocada com argamassa de cimento e areia com a espessura de 2cm e na face interior é revestida com soalho de madeira com 2 cm. |
|  <p>Soalho de madeira 2 cm</p> <p>Betão leve 4 cm</p> <p>Laje maciça de betão de 25 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>Camada de regularização 2 cm</p> <p>Isolante térmico XPS de 4 cm</p> <p>Reboco de 2 cm + pintura</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Laje de pavimento exterior 1<br/>LPE 1</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Tabela 5: Descrição do pavimento interior

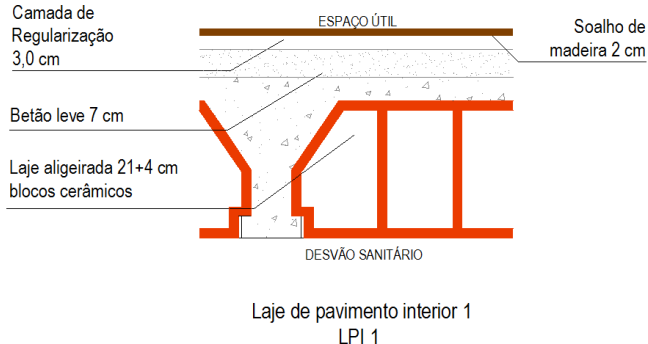
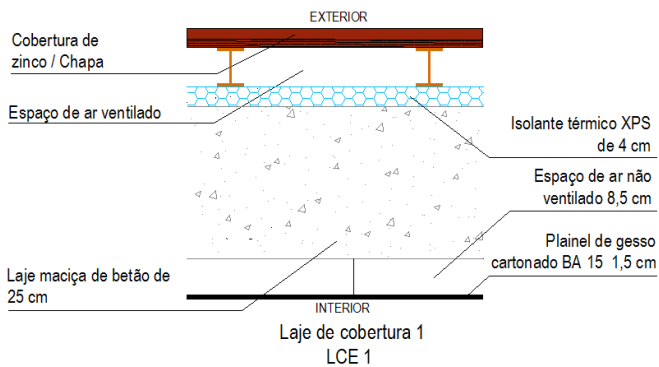
|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Pavimento interior</b></p> | <p>Os pavimentos interiores são executados em laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm, revestida superiormente com uma camada de enchimento de betão leve com uma espessura de 7 cm e uma camada de regularização de 3 cm. Na face interior será revestida com soalho de madeira com 2 cm.</p> |
|                                  |  <p>Camada de Regularização 3,0 cm</p> <p>Betão leve 7 cm</p> <p>Laje aligeirada 21+4 cm blocos cerâmicos</p> <p>ESPAÇO ÚTIL</p> <p>Soalho de madeira 2 cm</p> <p>DESVÃO SANITÁRIO</p> <p>Laje de pavimento interior 1<br/>LPI 1</p>                                               |

Tabela 6: Descrição da cobertura exterior

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Cobertura exterior</b></p> | <p>A laje de cobertura é executada em betão maciço com 25 cm de espessura, revestida superiormente pelo isolante em poliestireno extrudido expandido de 4 cm e com uma cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço ventilado. Na face inferior será revestida com teto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1.5 cm, com uma caixa-de-ar de 8,5 cm.</p>       |
|                                  |  <p>EXTERIOR</p> <p>Cobertura de zinco / Chapa</p> <p>Espaço de ar ventilado</p> <p>Isolante térmico XPS de 4 cm</p> <p>Espaço de ar não ventilado 8,5 cm</p> <p>Placel de gesso cartonado BA 15 1,5 cm</p> <p>Laje maciça de betão de 25 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>Laje de cobertura 1<br/>LCE 1</p> |

## **Capítulo 4**

PHPP - Passive House Planning Package

---

---

## Capítulo 4. PHPP – Passive House Planning Package

- 4.1. “Verification”
  - 4.2. “Climate data”
  - 4.3. “U-values”
  - 4.4. “U-list”
  - 4.5. “Ground”
  - 4.6. “Areas”
  - 4.7. “Win type”
  - 4.8. “Windows”
  - 4.9. “Shading”
  - 4.10. “Ventilation”
  - 4.11. “Additional Vent”
  - 4.12. “Annual heat demand”
    - 4.12.1. Perdas de calor
    - 4.12.2. Ganhos de calor
    - 4.12.3. Necessidade bruta de aquecimento anual
  - 4.13. “Monthly Method”
  - 4.14. “Heating Load”
  - 4.15. “Shading-S”
  - 4.16. “SummVent”
  - 4.17. “Summer”
  - 4.18. “Cooling”
  - 4.19. “Cooling Units”
  - 4.20. “Cooling Load”
  - 4.21. “DHW + Distribution”
  - 4.22. “SolarDHW”
  - 4.23. “Electricity e Aux Electricity”
  - 4.24. “Boiler”
  - 4.25. “PE value”
-

## CAPÍTULO 4. PHPP - PASSIVE HOUSE PLANNING PACKAGE

O balanço energético do projeto em estudo foi efetuado através da ferramenta de cálculo Passive House Planning Package - PHPP [4]. Esta ferramenta é composta por trinta e seis folhas de cálculo, cujo preenchimento dessas folhas efetuado seguindo o fluxograma indicado na Figura 22.

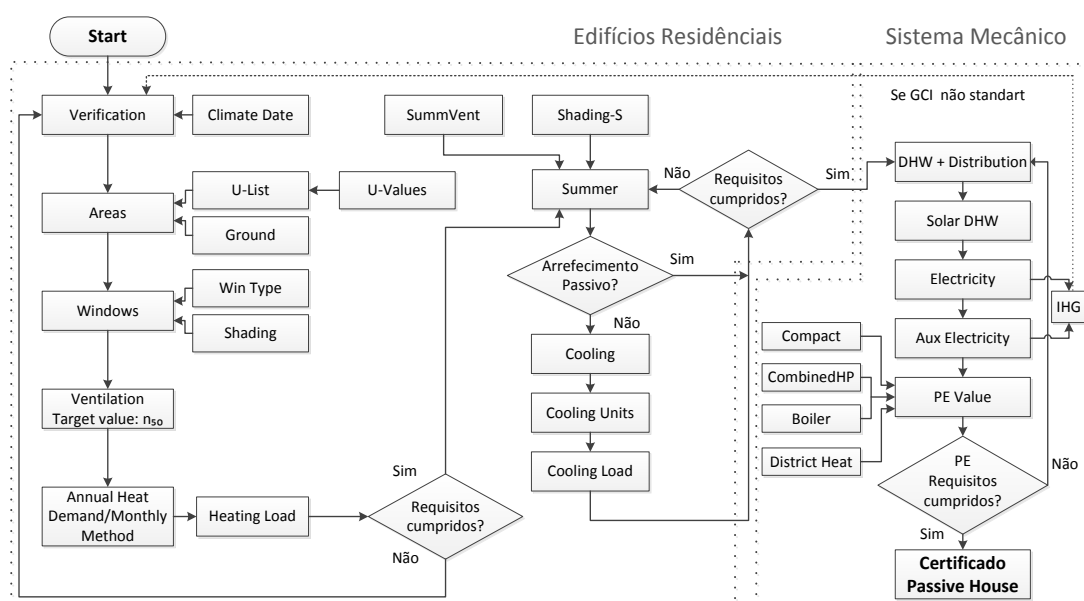


Figura 22: Esquema PHPP (Fonte: Manual PHPP)

Em seguida será feita uma breve descrição de cada uma das folhas de cálculo do PHPP [4], bem como a justificação dos cálculos efetuados.

### 4.1. "Verification"

A folha de cálculo da verificação contém todas as informações do projeto em estudo, bem como a verificação aos critérios energéticos definidos pela *Passivhaus*. Nesta folha é inserida a área útil, o volume e o número de ocupantes. É uma folha conclusiva a todos os cálculos efetuados, verificando se o projeto em estudo respeita todos os critérios de uma casa *Passivhaus*. A folha "Verification" encontra-se no Anexo B.1.

## 4.2. "Climate date"

Esta folha de cálculo contém os dados climáticos da região em estudo, neste caso, o projeto encontra-se em Aveiro. Os dados são importados de uma ferramenta da *Passipedia* (PHPP Climate tool) e inseridos na folha de cálculo. Estes dados incluem as coordenadas do local, a temperatura média por mês e a radiação solar incidente para os quatro pontos cardiais. A folha "climate date" encontra-se no Anexo B.2.

## 4.3. "U-values"

Na folha "U-values" são calculados os coeficientes de transmissão térmica de todas as soluções construtivas da moradia. Estes coeficientes entram diretamente na folha de cálculo "Areas" de modo a definir as características das áreas introduzidas. A folha "U-values" encontra-se no Anexo B.3.

## 4.4. "U-list"

A folha de cálculo "U-list" possui a lista de todas as soluções construtivas introduzidas na folha "U-values", contendo a espessura e o coeficiente de transmissão térmico de cada solução. A folha "U-list" encontra-se no Anexo B.4.

## 4.5. "Ground"

A folha de cálculo "Ground" contabiliza as perdas de calor pelas lajes em contato com o solo.

É necessário conhecer algumas das características do solo, tais como a condutibilidade térmica e a capacidade de calor específico do mesmo. Estas características variam mediante o tipo de solo, na qual podem ser obtidas de modo simplificado através da Tabela 7.

A folha considera quatro tipos de laje de piso: i) cave climatizada; ii) cave não aquecida; iii) laje assente diretamente no solo; iv) laje suspensa. O projeto em estudo possui um desvão sanitário enquadrando-se no tipo de laje suspensa.

Para a solução construtiva apresentada são introduzidas algumas das suas características (ver Figura 23), tais como a condutibilidade térmica do solo ( $U_{crawl}$ ), da laje



suspensa ( $U_f$ ), das paredes periféricas que constituem o desvão ( $U_w$ ), a sua altura ( $h$ ) e a área de aberturas que permitam a ventilação do espaço ( $\epsilon P$ ). A folha "Ground" encontra-se no Anexo B.5.

Tabela 7: Coeficiente de condutibilidade térmica e capacidade calorífica de solos (Fonte: Manual PHPP)

| Tipo de solo                            | Condutibilidade térmica<br>$\lambda$ [W/(mK)] | Capacidade calorífica<br>$\rho c_p$ [MJ/(m <sup>3</sup> /K)] |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Silte / Argila                          | 1,5                                           | 3,0                                                          |
| Trufa                                   | 0,4                                           | 3,0                                                          |
| Areia seca / Gravelha                   | 1,5                                           | 1,5                                                          |
| Areia molhada / Gravelha, Argila húmida | 2,0                                           | 2,0                                                          |
| Argila saturada                         | 3,0                                           | 3,0                                                          |
| Rocha                                   | 3,5                                           | 2,0                                                          |

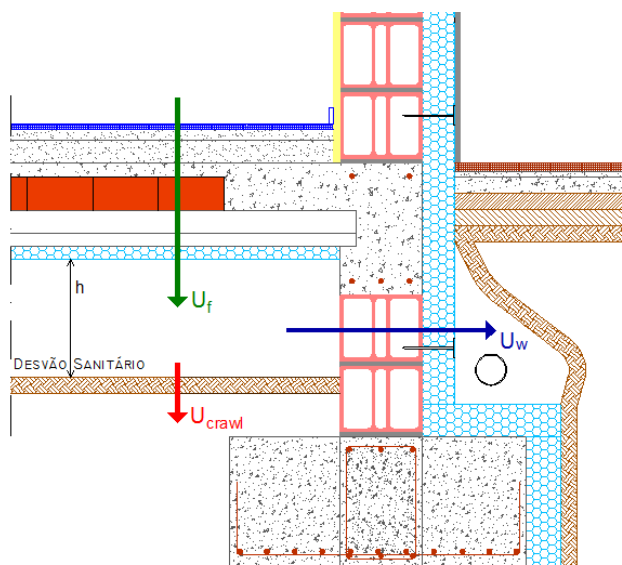


Figura 23: Pormenor construtivo do desvão sanitário

## 4.6. "Areas"

Na folha de cálculo "Areas" são inseridas todas as áreas da envolvente térmica do edifício medidas pelo seu exterior (ver Figura 24). A correlação da envolvente térmica, considerada hermética, é dividida em vários elementos construtivos e envolventes:

- Área útil;
- Envidraçados (Norte, Sul, Este e Oeste);

- Janelas horizontais (clarabóias);
- Portas exteriores;
- Paredes exteriores - ambiente;
- Paredes exteriores - enterradas;
- Cobertura;
- Pavimentos exteriores;
- Pontes térmicas lineares.

Nesta folha de cálculo só será inserida a área útil, pontes térmicas lineares e a área da envolvente opaca, incluindo as pontes térmicas planas. As áreas dos envidraçados são adicionadas numa outra folha de cálculo designada de "Windows".

A área da envolvente opaca pode ser inserida na folha de cálculo de duas formas, ou insere-se a área da envolvente vertical e a área envidraçada na qual será feita a diferença desta, ou insere-se diretamente a área da envolvente opaca. A cada área inserida faz-se corresponder a respetiva solução construtiva. A folha "Areas" encontra-se no Anexo B.6.

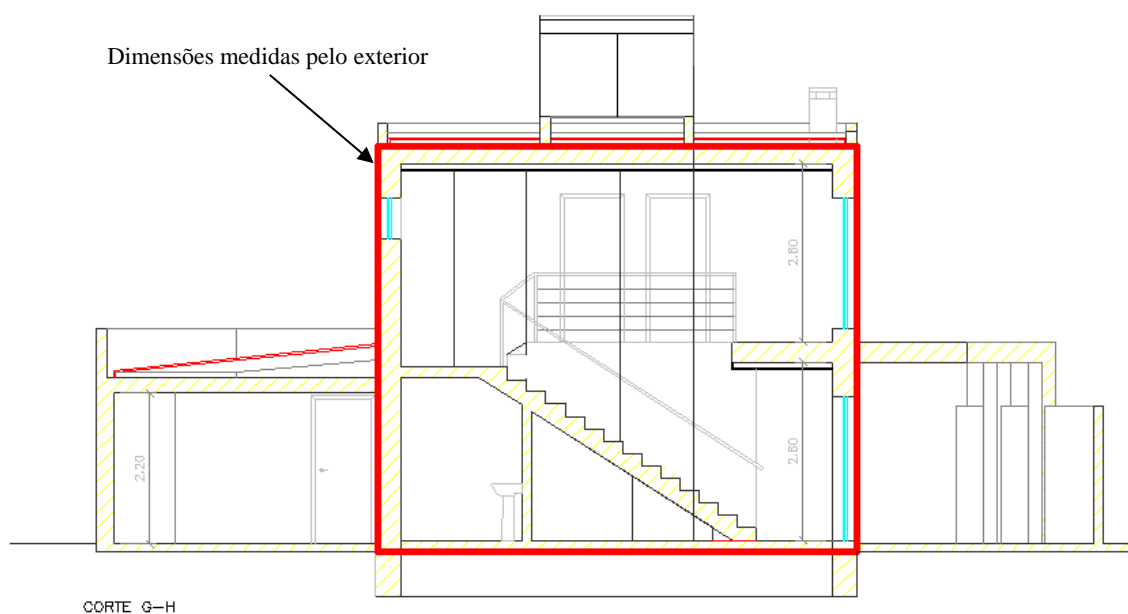


Figura 24: Envolvente térmica e estanque do edifício

#### 4.7. "Win Type"

A folha de cálculo "Win type" possui uma lista com diferentes soluções de vidros e outra com tipos de caixilharias. Estas listas fazem corresponder as características técnicas a cada solução de vidro e a cada tipo de caixilharia, mas também há possibilidade de adicionar diferentes soluções, caso estes não existam na lista. A folha "Win type" encontra-se no Anexo B.7.

#### 4.8. "Windows"

Esta folha de cálculo possui a lista completa de toda a área envidraçada do projeto em estudo.

A cada vão envidraçado adicionado nesta folha de cálculo deve conter a sua orientação, o plano onde se encontra, as suas dimensões, o tipo de vidro e de caixilharia que possui. Também devem ser definidos os parâmetros de instalação dos mesmos. A folha "Windows" encontra-se no Anexo B.8.

#### 4.9. "Shading"

A folha "Shading" calcula o fator de sombreamento, que na prática é um valor de redução dos ganhos solares dos vãos envidraçados.

Para a lista de vãos adicionadas na folha "Windows", são inseridas as distâncias horizontais e verticais, a objetos que provoquem sombreamento, tais como:

- Obstrução do horizonte (construções adjacentes) (ver Figura 25);
- O posicionamento de instalação da janela (ver Figura 26);
- Obstrução horizontal (varandas ou beiral) (ver Figura 27).

A folha "Shading" encontra-se no Anexo B.9.



Figura 25: Obstrução horizonte

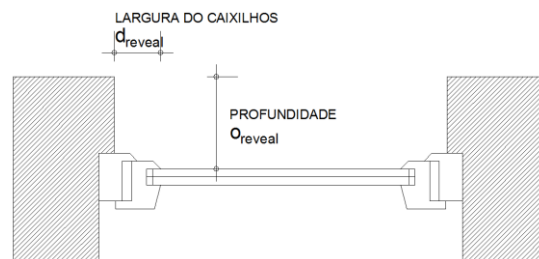


Figura 26: Obstrução devido ao posicionamento de instalação da janela

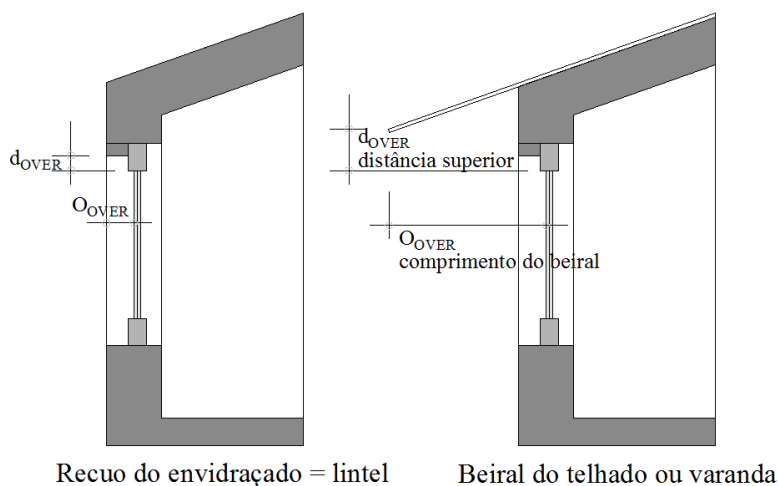


Figura 27: Obstrução horizontal

#### 4.10. "Ventilation"

O sistema de ventilação, incluindo o sistema de recuperação de calor e tubagens, é definido na folha de cálculo "Ventilation".

Os coeficientes de proteção ao vento variam mediante o grau de exposição do edifício, tendo sido adotado para o caso em estudo, que este se encontra numa zona urbana e está exposto ao vento em todas as direções. O valor adotado para a taxa de renovação de ar através do teste de pressurização, "*blower door test*", a uma diferença de pressão de 50 Pa foi o valor limite de  $0.6 \text{ h}^{-1}$ .

A necessidade de renovação do ar recomendada para cada habitante é de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , de acordo com a norma DIN 1946 -Parte 6 [4]. Os caudais de extração de ar recomendados por compartimento são:

- Cozinha -  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- Instalação sanitária com duche -  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- Instalação sanitária sem duche -  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ .

O caudal máximo adotado para o dimensionamento e escolha do sistema de ventilação com recuperação de calor é o valor máximo de três condições:

$$\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ m}^3/(\text{P.h}) \times \text{n}^\circ \text{ pessoas;} \\ \Sigma (\text{caudais de extração}); \\ \text{Volume} \times 0,3 \text{ h}^{-1} \times 1,3 (130\%). \end{array} \right.$$

Um dos critérios para obtenção do caudal máximo é obtido através do caudal de referência de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , multiplicado pelo número de pessoas que habita o edifício. O segundo critério é alcançado pela soma dos caudais extraídos nos compartimentos de serviço. Por fim o último critério que pode condicionar o caudal máximo é através da multiplicação do volume do edifício por  $0,3 \text{ h}^{-1}$ , número mínimo de renovações por hora para manter a qualidade do ar interior, majorando 1,3 vezes o valor obtido.

Após o cálculo do caudal máximo diário, é calculada a taxa média de renovação de ar, considerando que o edifício não estará completamente lotado durante as 24 horas diárias sendo aplicado um fator de redução do valor máximo. Mediante as necessidades do edifício em estudo é escolhido um sistema de ventilação com recuperação de calor, indicando que este se encontra fora da envolvente térmica hermética do edifício. No projeto de ventilação, deve ser indicado o comprimento de tubagens de extração e de insuflação fora e dentro dessa envolvente, bem como as características das tubagens. A folha "Ventilation" encontra-se no Anexo B.10.

#### **4.11. "Additional Vent"**

Esta folha de cálculo dispõe da possibilidade de se utilizar sistemas de ventilação adicionais. Caso haja necessidade de proporcionar um ambiente climatizado diferenciado do restante edifício, como exemplo, um arquivo, num hospital ou um bloco operatório.

#### **4.12. "Annual heat demand"**

A folha de cálculo "Annual heat demand" apresenta as necessidades anuais de aquecimento, fazendo o balanço entre os ganhos e as perdas.

Na Figura 28 é apresentado de forma esquemática o balanço térmico efetuado nesta folha de cálculo. Facilmente é identificada qual a fonte de maiores perdas e ganhos

procedendo assim à sua correção, por forma a atingir os limites impostos pela norma *Passivhaus*. A folha "Annual heat demand" encontra-se no Anexo B.11.

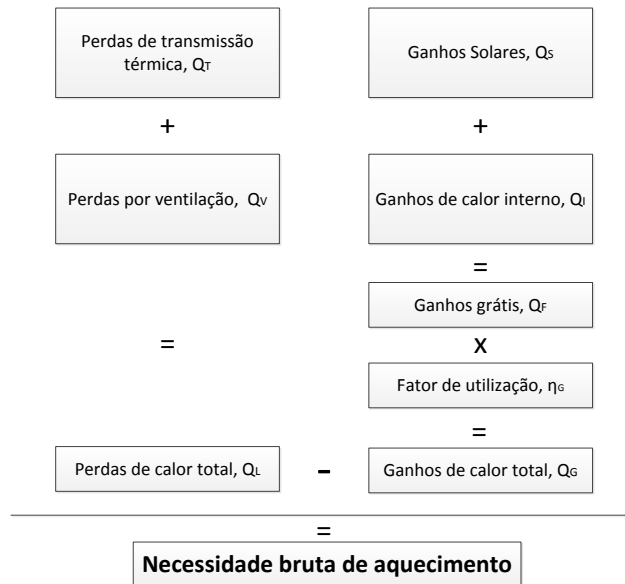


Figura 28: Diagrama do balanço energético

#### 4.12.1. Perdas de calor

As perdas de calor anuais são calculadas através das seguintes fórmulas:

Perdas de transmissão térmica, [kWh/a]:

$$Q_T = A \times U \times f_t \times G_t \quad (4.1)$$

em que:

$A$  - área da envolvente térmica [ $m^2$ ];

$U$  - coeficiente de transmissão térmico [ $W/m^2 K$ ];

$f_t$  - fator de correção da temperatura;

$G_t$  - grau de aquecimento hora [kKh/a].

Perdas por ventilação, [kWh/a]:

$$Q_V = V_v \times n_v \times c_{air} \times G_t \quad (4.2)$$

em que:

$V_v$  - volume ventilado = TFA (área útil)  $\times$  pé direito médio [ $m^3$ ];

$n_v$  - taxa de renovação de ar energeticamente eficiente [ $W/m^2 K$ ];

$c_{ar}$  - capacidade calorífica do ar: 0,3 Wh/( $m^3 K$ );

$G_t$  - grau de aquecimento hora [kKh/a].

Perdas de calor total, [kWh/a]:

$$Q_L = Q_T + Q_V \quad (4.3)$$

em que:

$Q_T$  - perdas de transmissão térmica [kWh/a];

$Q_V$  - perdas por ventilação [kWh/a].

#### 4.12.2. Ganhos de calor

Os ganhos de calor são calculados através das seguintes fórmulas:

Ganhos solares, [kWh/a]:

$$Q_S = r \times g \times A_f \times G \quad (4.4)$$

em que:

$r$  - fator de redução da fração envidraçada devido a sombreamento, sujidade e não-perpendicularidade da radiação incidente;

$g$  - fator solar;

$A_f$  - área bruta do vão envidraçado [ $m^2$ ];

$G$  - coeficiente da irradiação solar global (dado climático - valor médio do período de aquecimento) [kWh/a].

Ganhos de calor interno, [kWh/a]:

$$Q_I = t_{calor} \times q_i \times A_{TFA} \quad (4.5)$$

em que:

$t_{calor}$  - duração a estação de aquecimento [d/a];

$q_i$  - valor médio da carga de produção de calor interno [ $W/m^2$ ] (ver Tabela 8);

$A_{TFA}$  - área útil [ $m^2$ ].

Tabela 8: Média da carga de produção de calor interno (Fonte: PHPP)

| Tipo de edificio                         | $q_i$ [ $W/m^2$ ] |
|------------------------------------------|-------------------|
| Moradias unifamiliares e multifamiliares | 2.1               |
| Edifícios hospitalares                   | 4.1               |
| Escritórios e edificios administrativos  | 3.5               |
| Escolas                                  | 2.8               |

Ganhos gratuitos, [kWh/a]:

$$Q_F = Q_S + Q_I \quad (4.6)$$

em que:

$Q_S$  - ganhos solares [kWh/a];

$Q_I$  - ganhos de calor interno [kWh/a].

Ganhos de calor total, [kWh/a]:

$$Q_G = Q_F + \eta_G \quad (4.7)$$

em que:

$Q_F$  - ganhos grátis [kWh/a];

$\eta_G$  - fator de utilização.

#### 4.12.3. Necessidade bruta de aquecimento anual

Necessidade bruta de aquecimento anual, [ $kWh/(m^2 \text{ a})$ ]:

$$Q_H = Q_L - Q_G \quad (4.8)$$

em que:

$Q_L$  - perdas de calor total [ $kWh/(m^2 \text{ a})$ ];



$Q_G$  - Ganhos de calor total [kWh/(m<sup>2</sup> a)].

#### 4.13. "Monthly Method"

A folha "Monthly Method" segue o método exposto na EN13790 [19] que determina o balanço energético para cada mês do ano. É uma folha auxiliar de cálculo, sendo que estes dados são utilizados nos cálculos detalhados da folha "Annual Heating Demand". A folha "Monthly Method" encontra-se no Anexo B.12.

#### 4.14. "Heating Load"

A folha de cálculo "Heating Load" calcula a carga de aquecimento máximo para o edifício.

Este balanço energético é determinado através dos fluxos de perdas e de ganhos de calor para duas condições meteorológicas diferentes, uma para um dia frio de Inverno com uma boa radiação solar e outra para um dia moderadamente frio com o céu nublado e inexistente radiação solar direta. A carga máxima de aquecimento é obtida pelo máximo valor determinado das duas condições climáticas (ver Tabela 9) [4]. A folha "Heating Load" encontra-se no Anexo B.13.

Tabela 9: Carga de aquecimento (Fonte: PHPP)

| Frio, céu limpo                          |                          | Moderado, céu nublado                        |                          |
|------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| Perdas de transmissão térmica            | Ganhos solares           | Perdas de transmissão térmica                | Ganhos solares           |
| +                                        | +                        | +                                            | +                        |
| Perdas por ventilação                    | Ganhos de calor interno  | Perdas por ventilação                        | Ganhos de calor interno  |
| Fluxo de perdas de calor                 | Fluxo de ganhos de calor | Fluxo de perdas de calor                     | Fluxo de ganhos de calor |
| -                                        | -                        | -                                            | -                        |
| CADF = Carga de aquecimento num dia frio |                          | CADM = Carga de aquecimento num dia moderado |                          |
| Carga de aquecimento = máx. {CADF; CADM} |                          |                                              |                          |

#### 4.15. "Shading-S"

Esta folha de cálculo contempla o sombreamento temporário utilizado no Verão, como é o caso, do uso de estores brancos pelo exterior.

Os diferentes dispositivos de sombreamento que poderão ser utilizados produzem um fator de redução (z) à penetração da radiação solar para o interior, variando com o seu

posicionamento, caso se encontre no interior ou exterior (ver Tabela 10). Se não houver nenhuma proteção no envidraçado, o valor a adotar é de 100%, ou seja, toda a radiação é atravessada pelo envidraçado.

Tabela 10: Fator de redução para sombreamento temporário com soluções envidraçadas de baixa emissividade (Fonte:PHPP)

| Tipo de sombreamento | P/ Exterior | P/ Interior |
|----------------------|-------------|-------------|
| Lamelas verticais    | 0,06        | 0,70        |
| Lamelas a 45°        | 0,10        | 0,75        |
| Estores brancos      | 0,24        | 0,60        |
| Estores cinza        | 0,12        | 0,80        |
| Painéis opacos       | -           | 0,60        |

Como o controlo destes estores é feito manualmente o fator de redução é minimizado através da fórmula:

$$z_{effective} = 0,3 + 0,7 \times z \quad (4.9)$$

em que:

z- fator de redução da penetração da radiação solar.

Significando que 70% da área envidraçada é que fica protegida pela eficácia do sombreamento. A folha "Shading-S" encontra-se no Anexo B.14.

#### 4.16. "SummVent"

A folha de cálculo "SummVent" trata a renovação do ar interior no Verão proporcionada pelas janelas que sejam operacionáveis.

A ventilação é feita separadamente, de noite e de dia, por haver diferentes temperaturas entre o interior e o exterior e também diferentes velocidades do vento. Para a ventilação noturna é considerada a ventilação cruzada, por existirem janelas oscilo-batentes em alçados opostos.

Através desta folha de cálculo obtém-se assim a contribuição das taxas de renovação de ar, noturna e diurna por ventilação natural, que serão necessárias na folha "Summer". A folha "SummVent" encontra-se no Anexo B.15.

#### **4.17. "Summer"**

Esta folha de cálculo faz a estimativa das temperaturas atingidas no interior do edifício na estação de arrefecimento.

Quando a frequência de temperaturas excede o limite de conforto do ar interior (25°C) em 10% do período convencional de Verão, é necessário estabelecer novas medidas de proteção. Esta contagem já inclui a contabilização da ventilação efetuada pelas janelas e o sombreamento de Verão proporcionado pelas proteções (folha “SummVent” e “Shading-S”). A folha "Summer" encontra-se no Anexo B.16.

#### **4.18. "Cooling"**

Esta folha de cálculo é análoga à folha "Annual Heating Demand", contabilizando assim as necessidades de arrefecimento. Apresenta a necessidade energética necessária para o arrefecimento tendo em consideração todas os ganhos e perdas. Esta é uma folha onde não é necessário introduzir-se dados, sendo que estes advêm de folhas anteriormente preenchidas. A folha "Cooling" encontra-se no Anexo B.17.

#### **4.19. "Cooling Units"**

Nesta folha de cálculo é determinada a energia necessária para arrefecimento latente (desumidificação). Esta energia pode ser necessária devido ao arrefecimento do ar acompanhado de desumidificação intencional [4].

Também nesta folha podem ser escolhidas três opções que podem ser incorporadas no sistema de ventilação, a insuflação de ar arrefecido, recirculação do ar e desumidificação. A insuflação do ar arrefecido passa por arrefecer o ar exterior antes deste entrar nas divisões do edifício. A recirculação do ar é extrair o ar da divisão, arrefecê-lo e voltar a insuflar este mesmo ar. A desumidificação tem como função reduzir a humidade existente no ar, por arrefecimento do mesmo. A folha "Cooling Units" encontra-se no Anexo B.18.

#### **4.20. "Cooling Load"**

Esta folha de cálculo é análoga à folha "Heating Load". Apresenta um balanço energético contabilizando as cargas internas e solares e as perdas ou ganhos pela ventilação e pela transmissão para o dia em que será necessário um arrefecimento maior. Os resultados apresentados representam uma média das necessidades de arrefecimento para as flutuações das cargas internas e solares durante o dia.

O cálculo da amplitude da temperatura diária causada pelos ganhos solares durante o dia mais desfavorável é efetuado na folha "Cooling". Este valor não deverá exceder os 3 K, porque poderá a carga de arrefecimento, com limite de  $10\text{W/m}^2$ , não ser suficiente. A folha "Cooling Load" encontra-se no Anexo B.19.

#### **4.21. "DHW + Distribution"**

Esta folha de cálculo inclui os dados do sistema de distribuição de águas quentes sanitárias e do sistema de aquecimento. É necessário a identificação e medição da tubagem que se encontra dentro e fora da envolvente térmica para se calcularem as perdas de calor nos diferentes locais que a tubagem atravessa.

A contabilização da tubagem de distribuição de água quente sanitária é feita de modo a distinguir a tubagem que vai do depósito de água quente até às caixas de distribuição e a tubagem de cada dispositivo. Devido à existência de diferentes diâmetros nas tubagens dos dispositivos sanitários, adotou-se um diâmetro médio de 16 mm, por forma a facilitar os cálculos. A folha "DHW + Distribution" encontra-se no Anexo B.20.

#### **4.22. "SolarDHW"**

A folha de cálculo "Solar DHW" apresenta as características do sistema de painel solar para produção da água quente sanitária. Inclui a área de painel, o seu posicionamento e as distâncias, horizontal e vertical, à construção adjacente. A folha "SolarDHW " encontra-se no Anexo B.21.

### 4.23. "Electricity" e "Aux Electricity"

Estas duas folhas de cálculo contêm a estratégia de cálculo da necessidade de energia elétrica no edifício.

A folha "Electricity" possui todos os aparelhos elétricos domésticos, onde é mencionada a localização dos mesmos, dentro ou fora da envolvente térmica e o seu consumo por utilização.

A folha "Aux Electricity" contabiliza o consumo efetuado por sistemas auxiliares do edifício. No caso em estudo, existe o sistema de ventilação mecânico ativo no Inverno, bem como no Verão.

As folhas "Electricity" e "Aux Electricity" encontram-se no Anexo B.22 e B.23, respetivamente.

### 4.24. "Boiler"

Esta folha de cálculo especifica o tipo de caldeira que é utilizada para o aquecimento de água quente sanitária. Também menciona os consumos de energia primária anuais para o tipo de caldeira escolhida e as suas emissões anuais de CO<sub>2</sub> associado à sua utilização.

Para o projeto em estudo foi escolhida uma caldeira de condensação a gás. A folha "Boiler" encontra-se no Anexo B.24.

### 4.25. "PE value"

A folha de cálculo "PE value" apresenta a acumulação de todas as necessidades de energia primária por área útil.

As necessidades de energia primária representam todos os consumos efetuados no edifício, podendo provir do aquecimento, do aquecimento da água quente sanitária, da iluminação, dos eletrodomésticos, etc.

Após a soma estar concluída, é feita a verificação relativamente ao limite máximo de consumo em energia primária imposto pela norma *Passivhaus*. A folha "PE value" encontra-se no Anexo B.25.



## Capítulo 5

*Casa Passivhaus* em Aveiro

---

---

## Capítulo 5. Casa *Passivhaus* em Aveiro

### 5.1. Soluções construtivas

#### 5.1.1. Paredes exteriores

#### 5.1.2. Pavimentos exteriores

#### 5.1.3. Pavimentos interiores

#### 5.1.4. Cobertura exterior

#### 5.1.5. Pontes térmicas planas

#### 5.1.6. Pontes térmicas lineares

#### 5.1.7. Vãos envidraçados

#### 5.1.8. Sistema de ventilação e sistemas de coletores solares

### 5.2. Referências da casa *Passivhaus*

### 5.3. Estudo das estratégias ideais

#### 5.3.1. Influência das espessuras de isolamento

##### 5.3.1.1. Paredes

##### 5.3.1.2. Cobertura e pavimentos exteriores

##### 5.3.1.3. Laje do desvão sanitário

##### 5.3.1.4. Síntese

#### 5.3.2. Influência dos envidraçados

##### 5.3.2.1. Síntese

#### 5.3.3. Influência das pontes térmicas lineares

##### 5.3.3.1. Síntese

#### 5.3.4. Influência dos dispositivos de sombreamento no Verão

##### 5.3.4.1. Síntese

#### 5.3.5. Influência da eficiência do sistema de ventilação

##### 5.3.5.1. Síntese

#### 5.3.6. Influência da taxa de ventilação

##### 5.3.6.1. Síntese

#### 5.3.7. Influência da reorientação dos envidraçados a Sul

##### 5.3.7.1. Síntese

#### 5.3.8. Influência da área envidraçada a Sul

#### 5.3.9. Influência dos ganhos internos

#### 5.3.10. Influência do fator forma

### 5.4. Considerações finais

---



---

## CAPÍTULO 5. CASA *PASSIVHAUS* EM AVEIRO

Neste Capítulo é apresentado o estudo efetuado para tornar o projeto modelo, situado na região de Aveiro, numa casa *Passivhaus*. Após o cumprimento da norma, será efetuado o confronto das necessidades energéticas nominais da casa *Passivhaus* para Aveiro obtidas através do PHPP [4], com os resultados obtidos da casa *Standard* pelo RCCTE [3]. Ainda neste Capítulo será apresentado um estudo paramétrico, fazendo variar as soluções construtivas da casa *Passivhaus* de forma a observar a alteração das necessidades energéticas nominais perante a alteração das mesmas.

### 5.1. Soluções construtivas

As soluções construtivas originais adotadas para o edifício em estudo, que conduzem a casa a uma estratégia regulamentada do ponto de vista do RCCTE [3] com uma classe energética de classe A, são insuficientes para alcançar os requisitos da norma *Passivhaus*. Assim foram adotadas novas soluções construtivas de modo a reduzir as perdas de calor pela envolvente do edifício para que assim se atinjam todos os requisitos da *Passivhaus*.

Estas novas soluções construtivas passaram pela substituição da parede dupla em tijolo cerâmico, por uma parede de pano simples em blocos térmicos, na qual será revestida por isolamento pelo exterior (ETIC'S). A espessura de isolamento em poliestireno extrudido expandido (XPS) utilizado para tornar a casa *Passivhaus* foi de 10 cm nas paredes exteriores, 15 cm para coberturas e pavimentos exteriores e 6 cm para a laje do desvão sanitário.

Não só a envolvente opaca sofreu alterações para este estudo, como também a caixilharia teve que ser substituída por uma mais eficiente e com vidro de baixa emissividade.

Nas secções seguintes serão detalhados alguns exemplos das soluções construtivas adotadas e do sistema de ventilação com recuperação de calor. Os pormenores construtivos adotados para a casa *Passivhaus* encontram-se no Anexo C.

### 5.1.1. Paredes exteriores

As paredes exteriores da fachada serão em pano único executadas em bloco térmico de 25 cm. Será aplicado um sistema de isolamento pelo exterior com 10 cm de poliestireno extrudido expandido (XPS). A face exterior é revestida por um reboco armado com uma rede de fibra de vidro e uma argamassa de cimento e areia com a espessura de 1,5 cm. A face interior é revestida com gesso projetado com 2 cm de espessura ou 1,5 cm de revestimento cerâmico, caso se trate de instalação sanitária ou cozinha. O isolamento em poliestireno extrudido expandido será fixo ao pano de alvenaria com uma cola e um sistema de fixação mecânico (ver Figura 29).

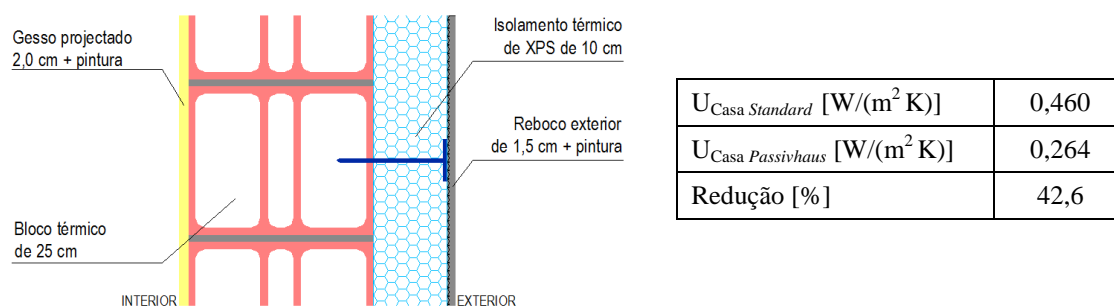


Figura 29: Exemplo de um pormenor da parede exterior

### 5.1.2. Pavimentos exteriores

Os pavimentos exteriores serão executados com uma laje maciça de 25 cm, betão leve de 4 cm e camada de regularização de 2 cm. Será aplicado um sistema de isolamento pelo exterior com 15 cm de poliestireno extrudido expandido fixado à laje por meio de colagem e uma fixação mecânica. A face exterior é revestida por um reboco armado com uma rede de fibra de vidro e uma argamassa de cimento e areia com a espessura de 1,5 cm. A face interior é revestida com soalho de madeira com 2 cm ou revestimento cerâmico com 1,5 cm (ver Figura 30).

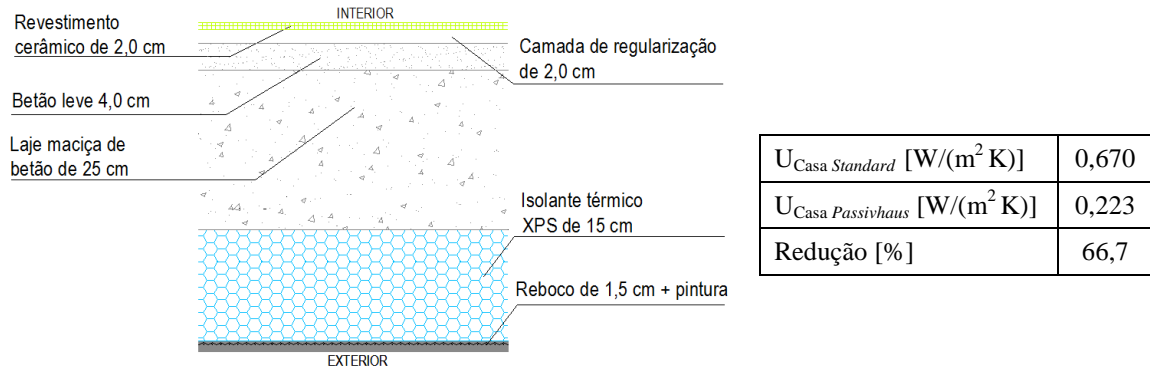


Figura 30: Exemplo de um pormenor do pavimento exterior

### 5.1.3. Pavimentos interiores

Os pavimentos interiores são executados em laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 8 cm. É revestida superiormente com uma camada de enchimento de betão leve com uma espessura de 7 cm e uma camada de regularização de 3 cm. Na face interior será revestida com soalho de madeira com 2 cm. Na face inferior será revestida por isolamento extrudido com 6 cm, sendo fixado à laje por colagem (ver Figura 31).

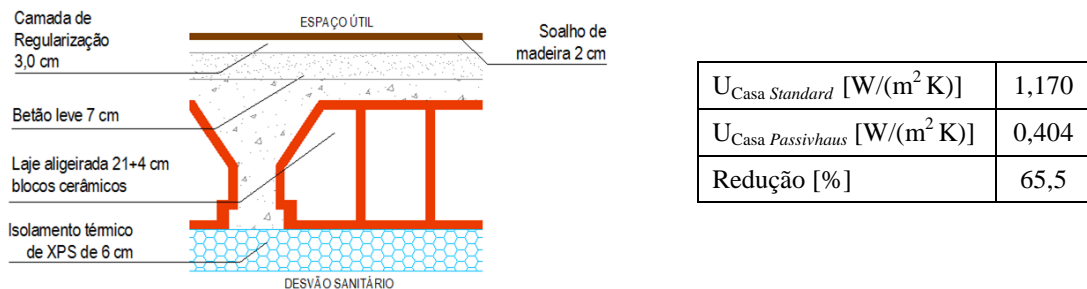


Figura 31: Exemplo de um pormenor do pavimento interior

### 5.1.4. Cobertura exterior

A laje de cobertura é executada em betão maciço com 25 cm de espessura, revestida superiormente pelo isolante em poliestireno extrudido expandido de 4 cm e com uma cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço ventilado. Na face

inferior será revestida com teto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm, com uma caixa-de-ar de 8,5 cm (ver Figura 32).

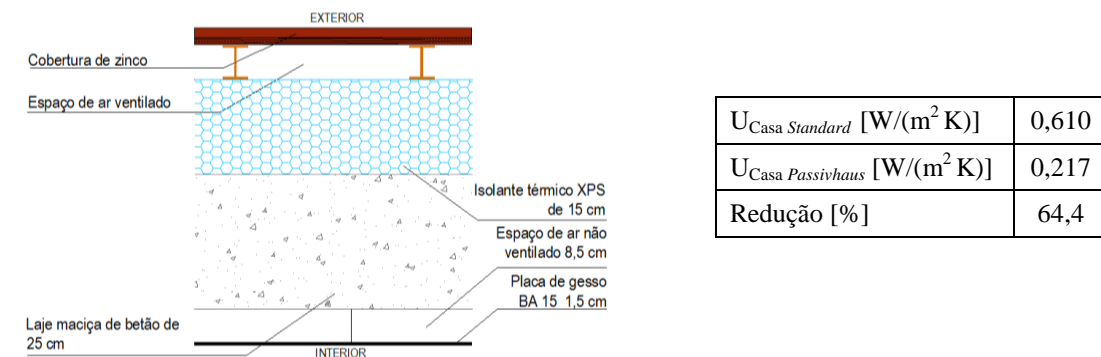


Figura 32: Exemplo de um pormenor da cobertura exterior

### 5.1.5. Pontes térmicas planas

As pontes térmicas planas foram corrigidas com um sistema ETIC'S, com 10 cm de isolamento. Com a aplicação desta solução atinge-se uma condutibilidade térmica de aproximadamente  $0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

Nas caixas de estore optou-se pela utilização de caixas pré-fabricadas em PVC com 23 cm de espessura, permitindo assim uma fácil instalação e garantindo a sua estanquidade. Por forma a corrigir estas pontes térmicas planas será aplicado nas faces interior e exterior uma camada de isolamento em poliestireno extrudido expandido com 4 e 8 cm, respetivamente.

### 5.1.6. Pontes térmicas lineares

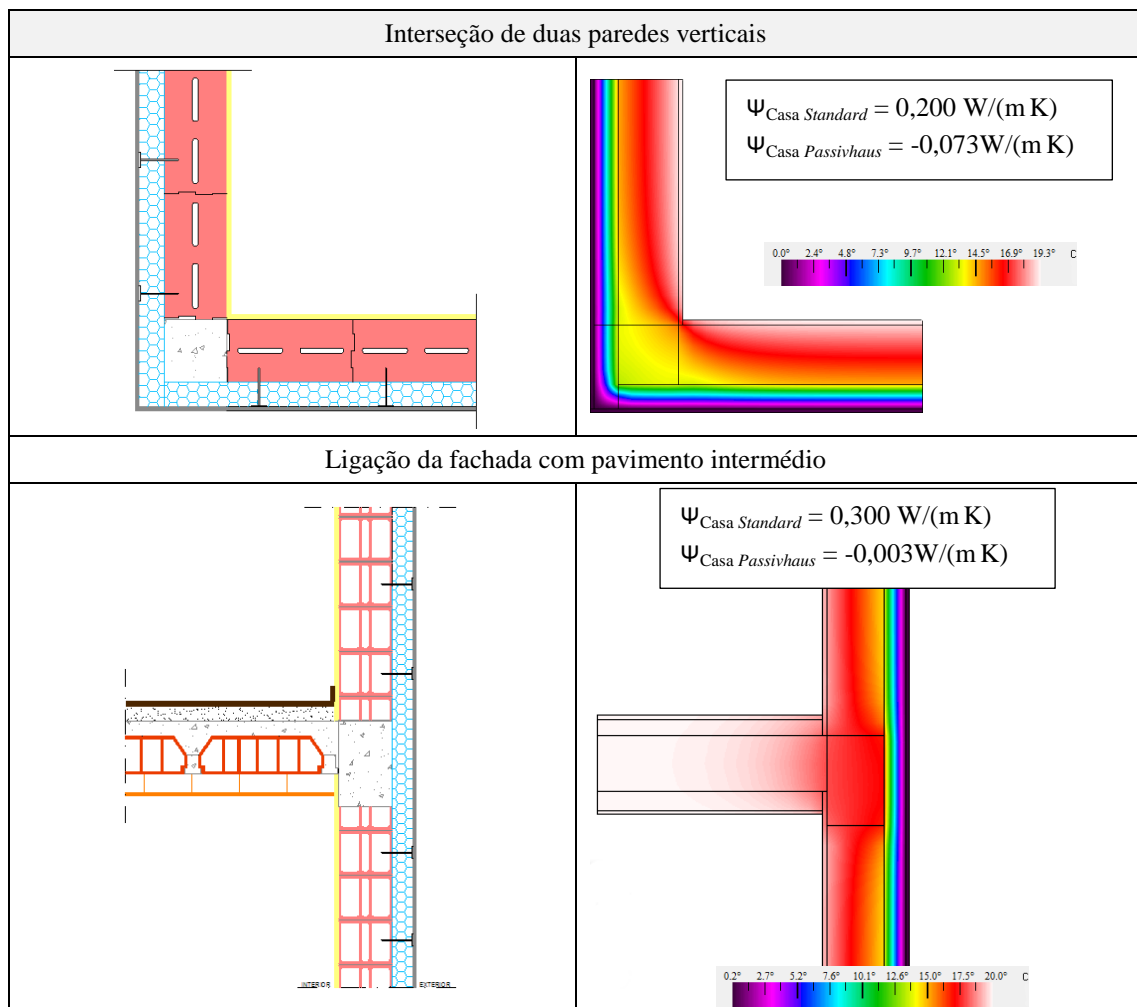
As pontes térmicas lineares foram minimizadas através da aplicação do isolamento pelo exterior, em poliestireno extrudido expandido, de forma contínua em toda a envolvente térmica.

A Tabela 11 apresenta dois pormenores construtivos da casa *Passivhaus*, ilustrando o coeficiente de transmissão térmica linear confrontado com os pormenores equivalentes da casa *Standard*. A interseção de duas paredes verticais é uma ponte térmica linear com alguma expressividade no projeto, relativamente à qual deve tomada especial atenção para a sua correção. A solução construtiva original utiliza uma forra cerâmica e isolamento XPS

com 4 cm na zona do cunhal de forma a corrigir a ponte térmica, apresentando um  $\Psi = 0,200 \text{ W/(m K)}$ . Com as novas soluções apresentadas para casa *Passivhaus*, é simplificada a solução construtiva, pela utilização de uma camada generosa de isolamento XPS pelo exterior, obtendo-se um  $\Psi = -0,073 \text{ W/(m K)}$ . A ponte térmica linear da interseção de duas paredes verticais, com a nova solução *Passivhaus*, não só reduziu as perdas térmicas como consegue obter ganhos térmicos. O mesmo aconteceu com a ponte térmica linear da ligação da fachada com pavimento intermédio, passando de  $\Psi = 0,300 \text{ W/(m K)}$  para  $\Psi = -0,003 \text{ W/(m K)}$ .

O abandono da parede dupla em tijolo cerâmico com caixa-de-ar e preenchimento com isolamento para uma solução de parede simples em bloco térmico com um isolamento pelo exterior é claramente vantajoso para a redução dos coeficientes de transmissão térmica linear.

Tabela 11: Exemplo de pontes térmicas lineares da casa *Passivhaus*



### 5.1.7. Vãos envidraçados

A solução envidraçada adotada é constituída por vidro duplo de baixa emissividade com caixa-de-árgon, incolor, do tipo Planitherm, com 4(16)4 mm, a caixilharia é em PVC de cor branca, do tipo VEKASLIDE. A condutibilidade térmica do vidro ( $U_{\text{vidro}}$ ) é de 1,30 W/(m<sup>2</sup> K) e da caixilharia ( $U_{\text{caixilharia}}$ ) é de 1,56 W/(m<sup>2</sup> K), apresentando um fator solar (g) de 0.66. Na estação de arrefecimento para proteção do vão envidraçado da incidência da radiação solar é proposto um dispositivo de sombreamento em estores pelo exterior de cor branca.

### 5.1.8. Sistema de ventilação e sistema de coletores solar

Foi implementado um sistema de ventilação com recuperação de calor, do tipo ComfoAir flat 150, da Zehnder, com uma eficiência de 82%.

O esquema de funcionamento do sistema de ventilação mecânico está representado na Figura 33. A extração do ar é efetuada na cozinha e nas instalações sanitárias e a insuflação é feita nos quartos e na sala.

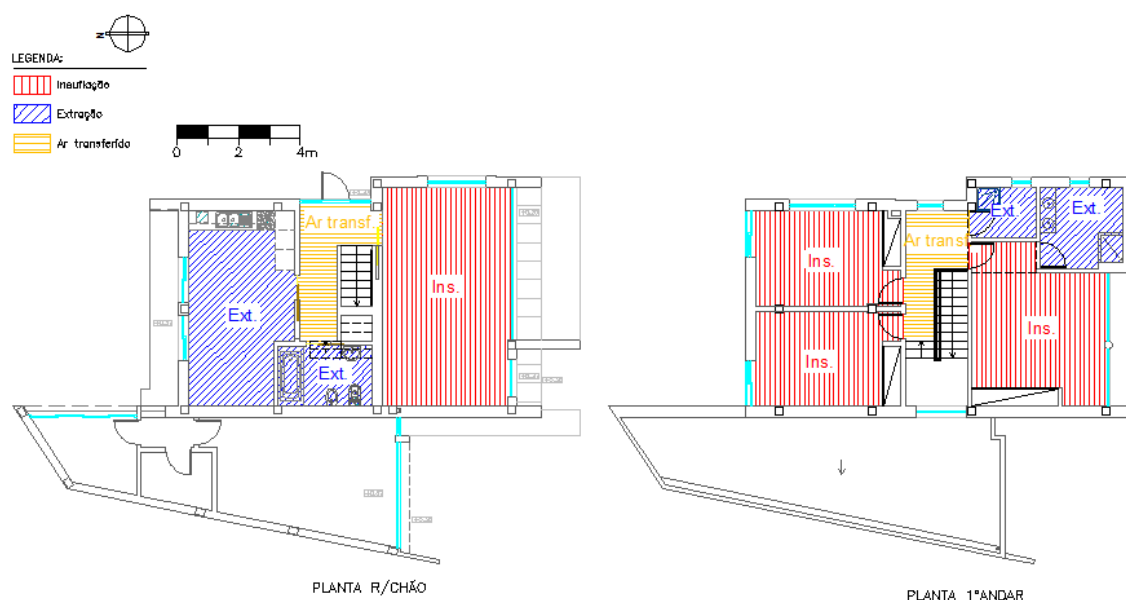


Figura 33: Esquema do sistema de ventilação

Para este projeto utilizou-se uma tubagem de extração e de insuflação do ar com 100 mm de diâmetro e 50 mm de espessura de isolamento. A tubagem localizada fora da

envolvente térmica deverá ter entre 50 a 100 mm de espessura de isolamento. Como o sistema de ventilação se encontra fora da envolvente térmica do edifício, mas no compartimento onde se encontra as temperaturas serão sempre superiores à temperatura exterior optou-se por se utilizar a espessura mínima de isolamento, de 50 mm. Na Figura 34 está representado o traçado da rede de ventilação do projeto em estudo, representando a tubagem de extração e insuflação, bem como os acessórios necessários, tais como os silenciadores, as bocas de extração e de insuflação.

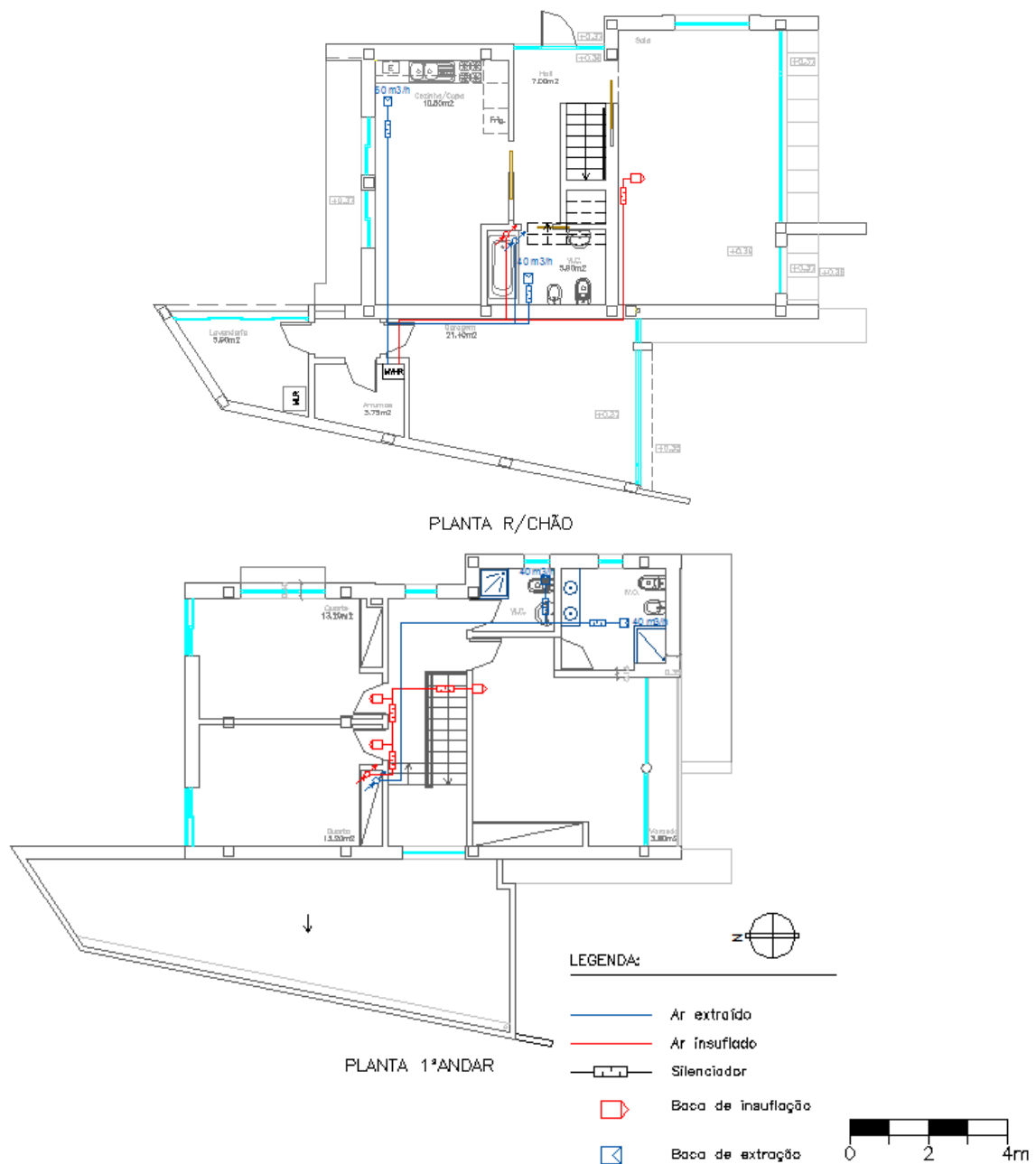


Figura 34: Traçado da rede de ventilação

Para melhor leitura, o traçado da rede de ventilação da Figura 34 encontra-se no Anexo D.

Para a casa *Passivhaus* em Aveiro também foi implementado um sistema solar térmico, com uma área de coletores de 5,70 m<sup>2</sup>, colmatando uma boa parte das necessidades totais para o aquecimento de água quente sanitária e aquecimento.

## 5.2. Referências da Casa *Passivhaus*

A casa *Passivhaus* para Aveiro possui grandes envidraçados a Sul, correspondendo a 47% da área total envidraçada, capturando assim uma boa radiação solar, mas ao mesmo tempo tem a capacidade de atingir um bom conforto térmico no interior não sobreaquecendo. Este comportamento deve-se à elevada inércia térmica, conseguida através de uma construção forte aliada à utilização de isolamentos de elevada espessura com a garantia da sua continuidade em toda a envolvente do edifício. Na Tabela 12 estão apresentadas as referências da casa *Passivhaus* para Aveiro, podendo-se observar que com a adoção destas novas soluções construtivas, consegue-se reduzir a condutibilidade térmica para cerca de metade.

Tabela 12: Referências da casa *Passivhaus* para Aveiro

|                                                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Parede: U; espessura de isolamento                           | 0,264 W/(m <sup>2</sup> K); 10 cm |
| Cobertura: U; espessura de isolamento                        | 0,217 W/(m <sup>2</sup> K); 15 cm |
| Laje suspensa: U; espessura de isolamento                    | 0,404 W/(m <sup>2</sup> K); 6 cm  |
| U <sub>caixilharia</sub>                                     | 1,56 W/(m <sup>2</sup> K)         |
| U / g <sub>vidro</sub>                                       | 1,3 W/(m <sup>2</sup> K); 0,66    |
| Sombreamento no Verão                                        | Estores brancos - exterior        |
| Eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor | 77%                               |
| Taxa de renovação do ar                                      | 0,41h <sup>-1</sup>               |
| Ventilação noturna através das janelas                       | Sim                               |
| Sistema de arrefecimento ativo                               | Não                               |
| Climatização via insuflação do ar                            | Sim                               |
| Desumidificação do ar insuflado                              | Não                               |

No Inverno, a radiação solar proporcionada pelos vãos envidraçados é bastante benéfica, mas no Verão, torna-se incómoda, podendo ocorrer riscos de sobreaquecimento no interior da habitação. O uso de palas ou estores pelo exterior é fundamental para



combater o sobreaquecimento, sendo que estes últimos não eram contemplados no projeto inicial, mas tornaram-se imprescindíveis para este estudo.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) obriga o uso de um sistema solar térmico, o qual foi implantado também neste estudo [3]. O sistema solar térmico consegue suprir 66% das necessidades totais para o aquecimento de água quente sanitária e para o sistema de aquecimento de apoio que será colocado nas instalações sanitárias.

O sistema de ventilação mecânico vai funcionar durante todo o ano de modo a proporcionar uma boa ventilação, garantindo uma temperatura interior confortável e excelente qualidade do ar.

No Inverno o ar insuflado não vai necessitar de ser pré-aquecido. A recuperação de calor efetuada pelo permutador do sistema de ventilação com uma eficiência de 77% é suficiente para permitir a entrada do ar no interior do edifício à temperatura de 16.7°C, para uma temperatura exterior de 6°C. Caso haja necessidade de acionar o sistema de aquecimento este terá uma potência de 9 W/m<sup>2</sup>.

No Verão a ventilação diurna é efetuada em conjunto com a ventilação natural e mecânica para que não haja risco de sobreaquecimento, mantendo assim uma boa qualidade de ar interior. Deve-se ter em atenção que o sistema de recuperação de calor é desligado e acionado o sistema *bypass*, de modo a proporcionar a circulação do ar. Durante a noite a ventilação é assegurada através da abertura de janelas. Esta abertura quando efetuada em lados opostos do edifício permite que se proporcione uma ventilação cruzada possibilitando uma boa circulação de ar e desta forma diminuir a temperatura interior [13].

Durante a estação de arrefecimento a temperatura interior do edifício é mantida abaixo dos 25°C durante 93% do tempo. Na proposta para a casa *Passivhaus* não está contemplado um sistema ativo de arrefecimento, visto que o risco de sobreaquecimento é inferior ao limite imposto pela norma.

Para a proposta da casa *Passivhaus* em Aveiro foi determinado 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) para a necessidade de aquecimento anual e 8 kWh/(m<sup>2</sup> a) para a necessidade de arrefecimento. O balanço energético efetuado através da ferramenta PHPP com os mesmos dados do projeto modelo apresenta para as necessidades de aquecimento 66 kWh/(m<sup>2</sup> a) e para as necessidades de arrefecimento 14 kWh/(m<sup>2</sup> a), sendo regulamentar ao abrigo da legislação em vigor (ver Figura 35). A poupança energética da casa *Passivhaus* é de cerca de 77%

para as necessidades de aquecimento e de 43% para as necessidades de arrefecimento em relação ao mesmo edifício com uma construção considerada *standard* e de boa qualidade.

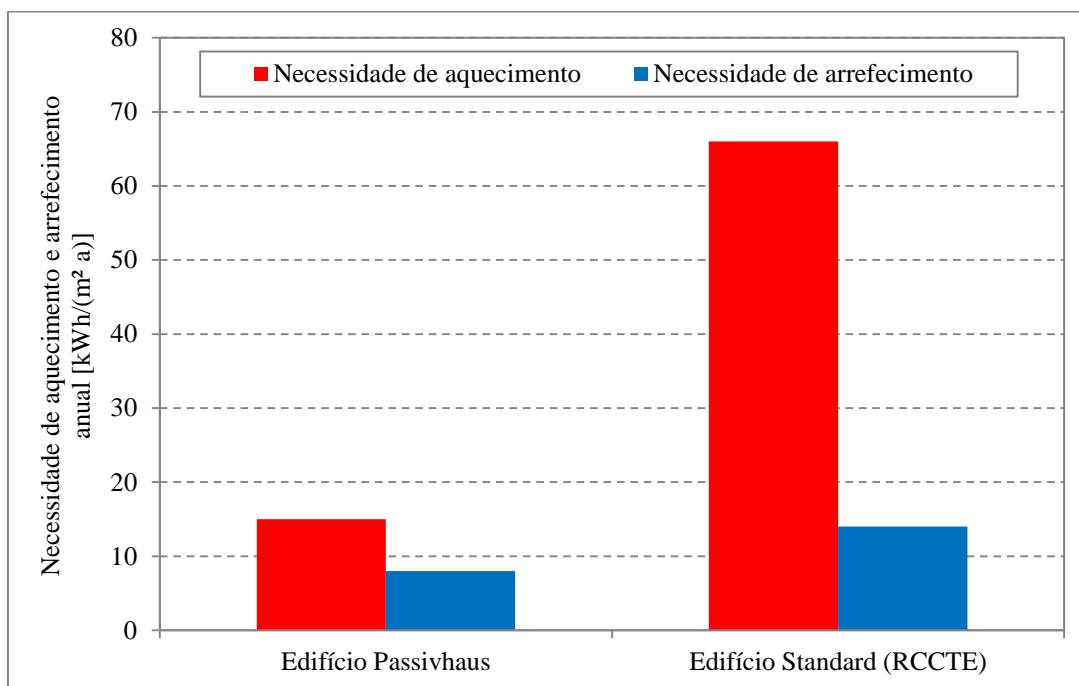


Figura 35: Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento anual de um edifício *Standard* (RCCTE) em comparação com uma conceção *Passivhaus*

Segundo a análise efetuada anteriormente prova-se que as estratégias adotadas para o projeto *Standard* por forma a torná-lo numa casa *Passivhaus* para a zona climática de Aveiro são viáveis. Os limites impostos pela norma são atingidos conseguindo obter necessidades energéticas nominais bastante favoráveis, tanto no Inverno como no Verão em comparação com o projeto e soluções construtivas iniciais. O projeto em estudo tem uma arquitetura representativa de Portugal, podendo assim transpor-se a maioria das estratégias adotadas para outros projetos. No Capítulo 7 far-se-á uma análise térmico-económica para este caso de estudo para diferentes localidades.

### 5.3. Estudo das estratégias ideais

Após terem sido adotadas as soluções construtivas que levaram a atingir o cumprimento dos critérios da norma, será efetuado um estudo paramétrico de forma a observar a alteração das necessidades energéticas nominais perante a alteração de alguns aspetos.

Neste estudo é abordado o comportamento enquanto casa *Passivhaus*, mediante a variação: i) das espessuras de isolamento das paredes, da cobertura, no pavimento exterior e no pavimento do desvão sanitário; ii) do tipo de envidraçado; iii) da eficiência do sistema de ventilação; iv) da taxa de ventilação; v) dos dispositivos de proteção solar no Verão; vi) do coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica na ligação da fachada com varanda; vii) da influência da reorientação dos envidraçados a Sul; viii) da influência da área envidraçada a Sul; ix) da influência dos ganhos internos; x) da influência do “compactness factor”

#### 5.3.1. Influência das espessuras de isolamento

As figuras a seguir apresentadas traduzem a influência sobre os indicadores da norma *Passivhaus* em função da espessura do isolamento nas paredes, na cobertura, nos pavimentos exteriores e no pavimento do desvão sanitário. Com este estudo paramétrico é determinada a espessura para a qual é alcançado o limite imposto pela norma *Passivhaus*, e ainda qual o benefício conseguido com o seu aumento.

##### 5.3.1.1. Paredes

Na Figura 36 constata-se que a influência da espessura do isolamento nas paredes nas necessidades de aquecimento anuais é muito relevante. À medida que a espessura vai aumentando as necessidades de aquecimento vão diminuindo significativamente.

Para o edifício em estudo, a espessura de isolamento necessária para que esta cumpra os limites impostos pela norma *Passivhaus* seria cerca de 100 mm no mínimo. Inicialmente a cada 20 mm de espessura adicionais de isolamento adicionado é visível um significativo decréscimo das necessidades. No caso de 60 mm de espessura, as necessidades energéticas nominais diminuem cerca de 2 kWh/(m<sup>2</sup> a). A partir dos 200 mm de espessura

o benefício retirado é muito baixo em comparação com o investimento no isolamento do edifício.

Conclui-se assim, que o aumento da espessura do isolamento é benéfico até aos 200 mm, valor a partir do qual os benefícios retirados são muito baixos, com tendência para serem nulos.

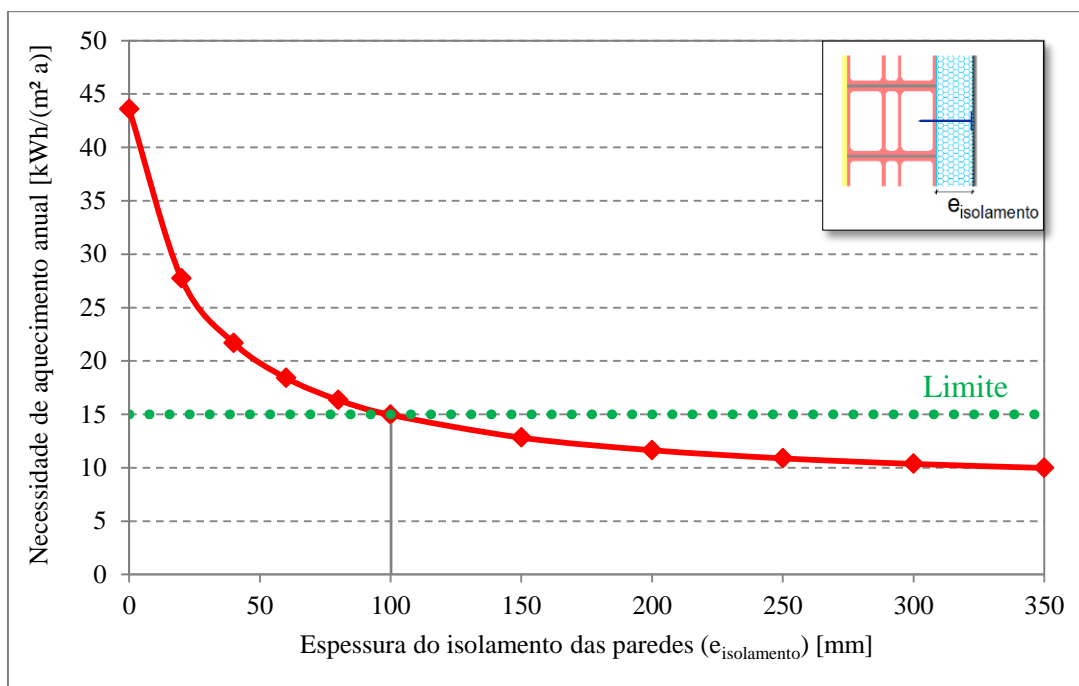


Figura 36: Necessidade de aquecimento anual em função da espessura de isolamento das paredes de envolvente exterior

Na Figura 37 é evidenciada a influência da espessura de isolamento das paredes na potência necessária para promover o aquecimento.

O seu comportamento é decrescente em função do aumento da espessura, atingindo o critério imposto pela norma com cerca de 60 mm de isolamento. Para espessuras reduzidas, o aumento da mesma conduz a um decréscimo na carga de aquecimento muito significativo, e a partir dos 200 mm quase que não existe benefício, analogamente ao caso da necessidade de aquecimento. Observa-se que o comportamento do gráfico tende para zero, ou seja, por mais que se aumente a espessura do isolamento nas paredes de envolvente exterior, a carga de aquecimento não vai diminuir.

Em suma, o aumento da espessura torna-se vantajoso em termos da redução da carga de aquecimento até atingir os 200 mm.

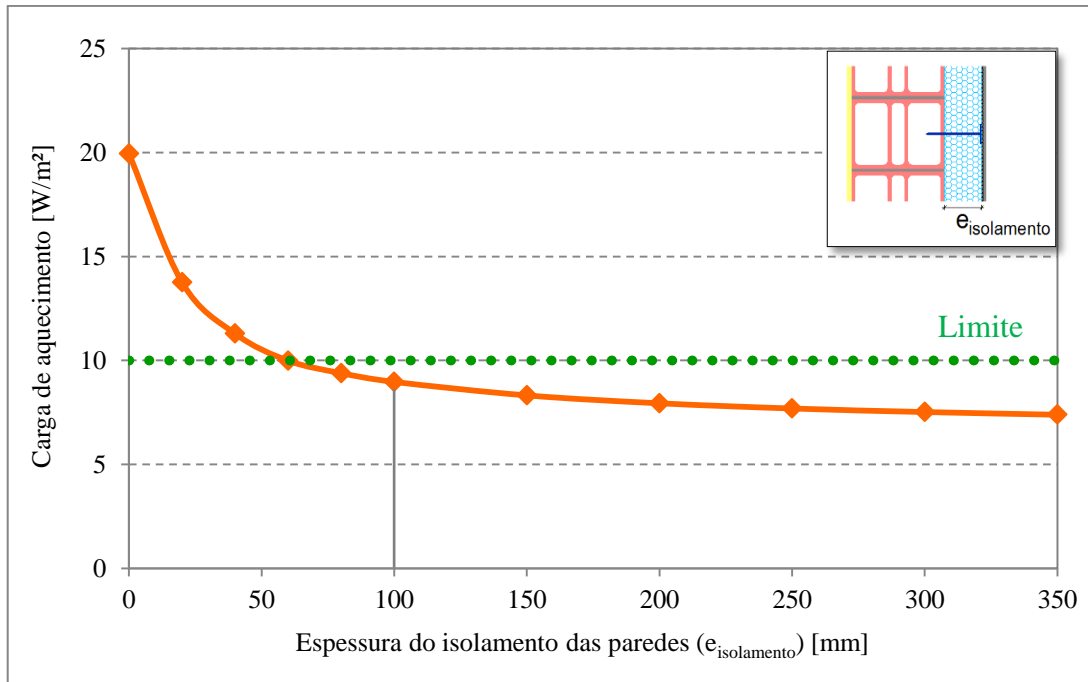


Figura 37: Carga de aquecimento em função da espessura do isolamento das paredes da envolvente exterior

A Figura 38 revela a influência da variação da espessura de isolamento das paredes de envolvente exterior sobre a necessidade de arrefecimento anual.

Para qualquer espessura do isolamento das paredes ou até mesmo sem qualquer isolamento, é cumprido o requisito imposto pela norma não sendo esta exigência condicionante. Uma parede sem isolamento tem uma grande capacidade de perda energética (liberta calor), por outro lado também é mais fácil de ser atravessada pelo fluxo de calor, aquecendo o interior do edifício. A utilização de isolamento nas paredes na estação de arrefecimento previne o sobreaquecimento do interior do edifício permitindo assim reduzir o consumo energético associado à climatização.

Como referido anteriormente, e mais uma vez é comprovado, que a utilização de uma espessura de isolamento muito elevada, a partir dos 200 mm, para o edifício em estudo situado na região de Aveiro, não leva a qualquer benefício. Por outro lado, encarecia o custo da construção, visto que, um aumento da espessura de 200 mm para 250 mm aumentaria em cerca de 25% o custo do isolamento das paredes.

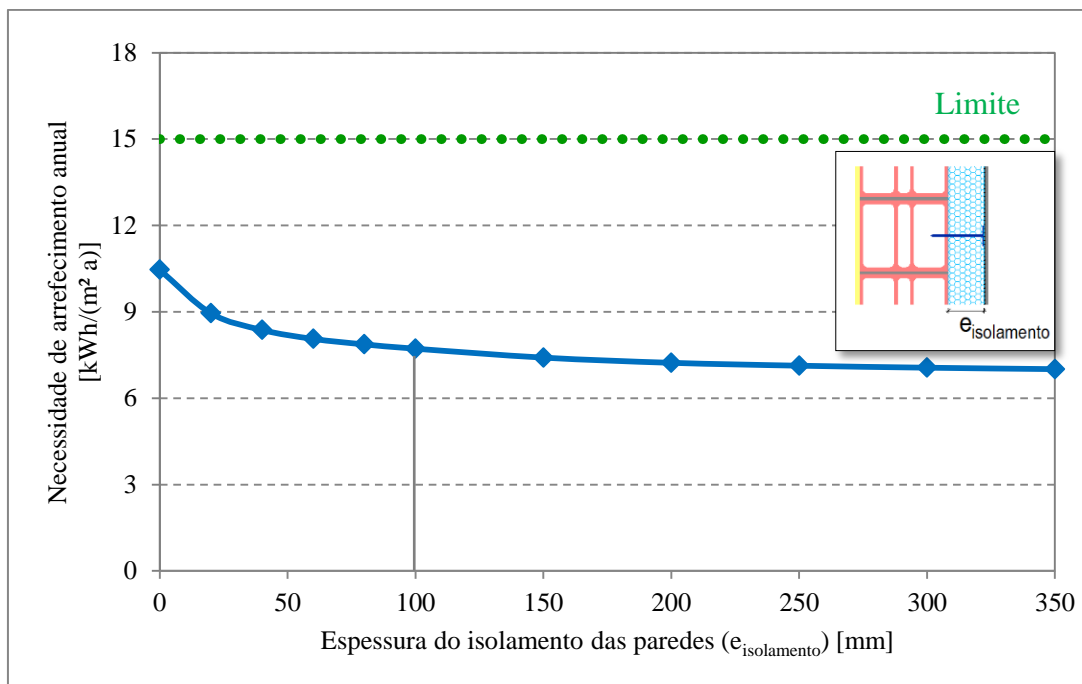


Figura 38: Necessidade de arrefecimento anual em função da espessura de isolamento das paredes de envolvente exterior

A Figura 39 evidencia a influência do aumento da espessura de isolamento nas paredes sobre a carga de arrefecimento.

O limite imposto pela norma *Passivhaus*, dos  $10 \text{ W}/\text{m}^2$ , encontra-se abaixo dos valores apresentados para a carga de arrefecimento. Com o aumento da espessura do isolamento a potência de arrefecimento necessária diminui, mas para este caso de estudo nunca baixa dos  $17 \text{ W}/\text{m}^2$ , por mais que se aumente a espessura de isolamento. O cumprimento da norma para a estação de arrefecimento, passa pelo cumprimento do critério para a necessidade de arrefecimento anual com o valor limite de  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  ou dos  $10 \text{ W}/\text{m}^2$  para a carga de arrefecimento. O primeiro critério é cumprido, como observado na Figura 38, podendo assim a carga de arrefecimento exceder o limite sem comprometer a certificação *Passivhaus*, uma vez que se trata de uma condição alternativa.

A redução da carga de arrefecimento é mais acentuada até aos 60 mm de espessura de isolamento, sendo que a partir deste valor o benefício retirado é muito mais reduzido, e para valores acima dos 250 mm, tem tendência a ser nulo.

Para o estudo efetuado, não se consegue cumprir a meta imposta para nenhuma das espessuras propostas. Mesmo assim, será necessário reduzir a potência necessária para

climatizar o edifício no Verão de modo a reduzir a energia necessária para manter o edifício em funcionamento.

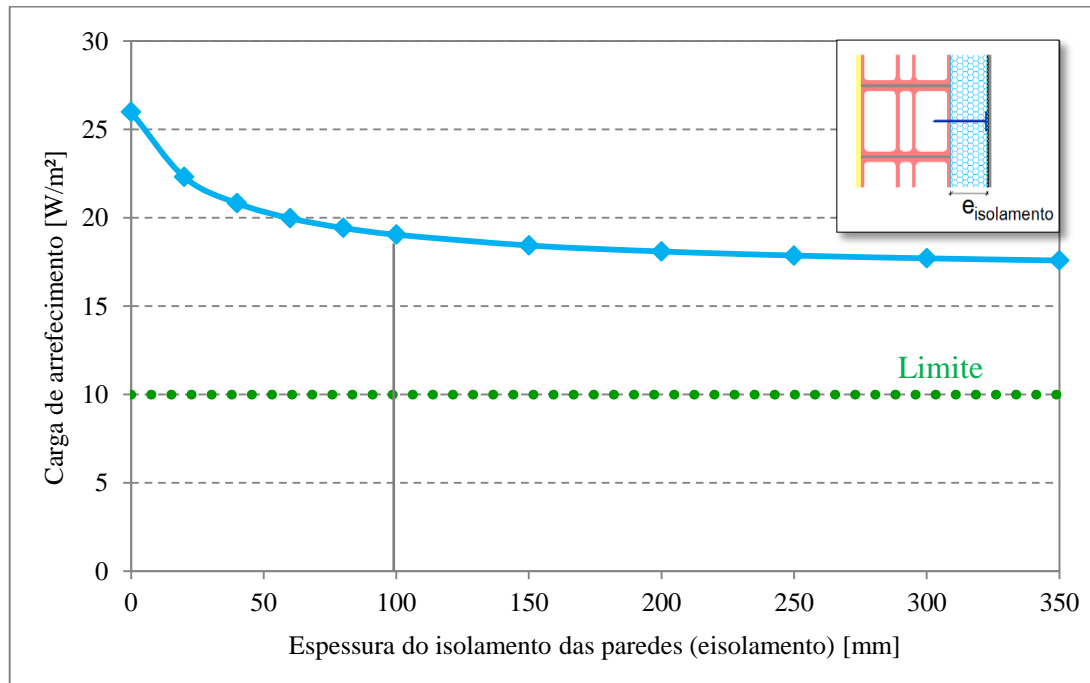


Figura 39: Carga de arrefecimento em função da espessura do isolamento das paredes de envolvente exterior

Na Figura 40 constata-se a influência da variação de espessura utilizada no isolamento das paredes sobre a necessidade de energia primária.

A poupança energética conseguida com o aumento da espessura de isolamento nas paredes é bastante significativa. As necessidades de energia primária incluem, para além de todos os outras necessidades energéticas nominais no edifício, as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Estas necessidades diminuem com o aumento de isolamento nas paredes, então, o mesmo acontece proporcionalmente com a necessidade de energia primária. É de salientar que neste estudo não está incluindo nenhum sistema ativo de arrefecimento.

A maior redução das necessidades de energia primária verifica-se até à espessura de 150 mm. À medida que a espessura aumenta a redução não é tão significativa como para dimensões mais reduzidas. Quando considerado apenas uma espessura de isolamento com 20 mm existe uma redução de cerca de 20 kWh/(m² a), quando comparado com uma solução sem qualquer isolamento nas paredes, conseguindo-se assim baixar o suficiente de

modo a que se cumpra o limite imposto dos 120 kWh/(m<sup>2</sup> a) (considerando apenas este critério)

Para espessuras de isolamento acima dos 250 mm a redução conseguida nas necessidades de energia primária é muito mais reduzida, mas ainda é visível uma inclinação com sentido decrescente. Com espessuras tão elevadas é possível conseguir-se uma poupança energética, mas o custo do aumento do isolamento, supera claramente o benefício.

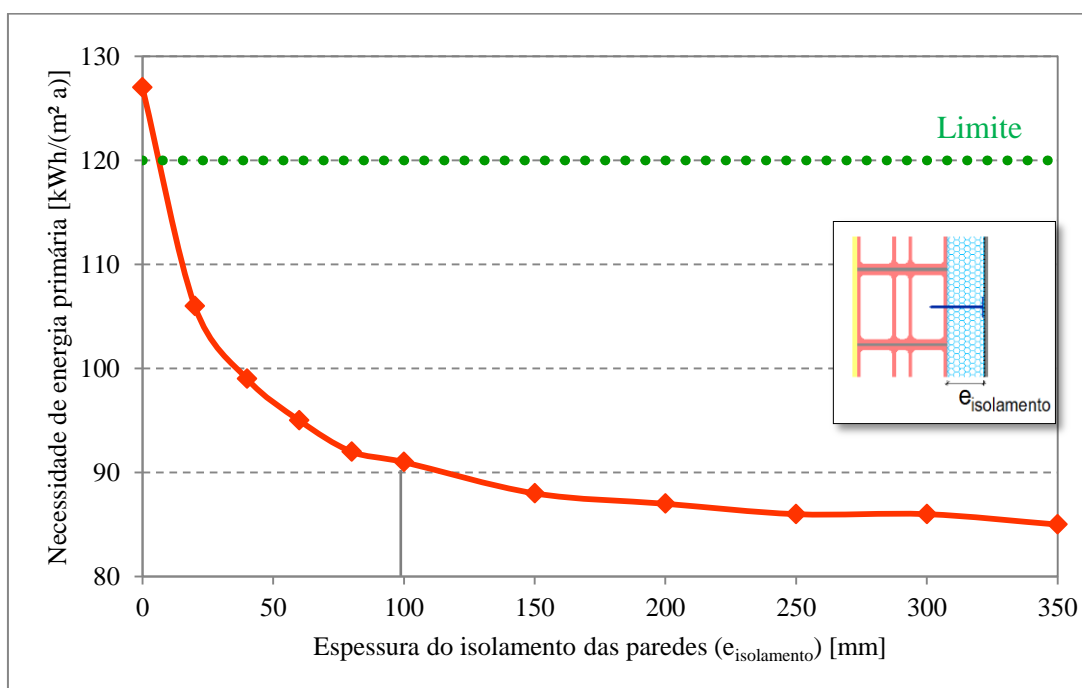


Figura 40: Necessidade de energia primária em função da espessura do isolamento das paredes de envolvente exterior

A Figura 41 traduz a influência da variação de espessura utilizada no isolamento das paredes sobre o risco de sobreaquecimento.

Neste caso de estudo para qualquer espessura de isolamento analisada, o risco de sobreaquecimento encontra-se sempre abaixo do limite dos 10% imposto pela norma. Ao contrário do que sucedia nos resultados anteriores, quanto mais se aumenta a espessura maior será o risco de sobreaquecimento, mesmo que este aumento seja muito ligeiro. Quanto maior é a espessura utilizada, maior será a capacidade da inércia para manter a temperatura no interior do edifício, reduzindo as perdas de calor pela sua envolvente.



Na escolha da espessura de isolamento a utilizar nas paredes deve-se ter especial atenção do modo como influenciam o conforto interior durante a estação de arrefecimento. Deste modo evita-se a utilização de um sistema ativo para o arrefecimento, reduzindo a necessidade de energia primária, mesmo sabendo que esta é apenas uma variável do problema de obtenção de conforto.

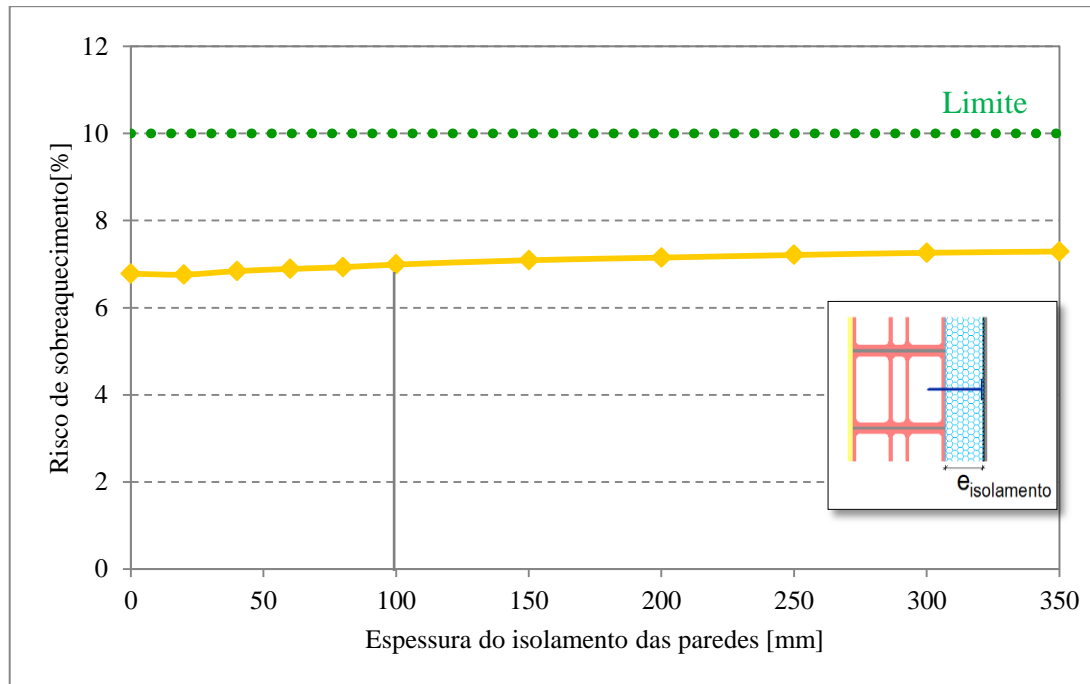


Figura 41: Risco de sobreaquecimento em função da espessura do isolamento das paredes de envolvente exterior

### 5.3.1.2. Cobertura e pavimentos exteriores

A Figura 42 revela a influência da variação da espessura do isolamento da cobertura e das lajes de pavimentos exteriores sobre a necessidade de aquecimento anual.

A influência da espessura de isolamento é bastante significativa, diminuindo bastante as necessidades de aquecimento em função do seu acréscimo. A tendência dos resultados é bastante idêntica ao exposto na Figura 36, com a ressalva de ser uma envolvente opaca horizontal. Ressalva-se que a envolvente horizontal está mais exposta às condições atmosféricas, nomeadamente à radiação, existindo uma maior perda de calor, sendo necessário pelo menos 150 mm de isolamento para cumprir o critério imposto pela norma *Passivhaus*.

A redução energética mais exponencial ocorre para pequenas espessuras até aos 60 mm. A partir dos 150 mm a influência sobre a necessidade de aquecimento é insignificante. Quando a espessura utilizada na cobertura e nos pavimentos exteriores é duplicada, de 150 mm para 300 mm, a redução para as necessidades de aquecimento anuais é insignificante, com cerca de 2,26 kWh/(m<sup>2</sup> a).

A espessura ideal a utilizar por forma a diminuir as necessidades de aquecimento e cumprir o requisito são os 150 mm, a adoção de espessuras maiores encarece o custo inicial da obra, sem grandes ganhos energéticos.

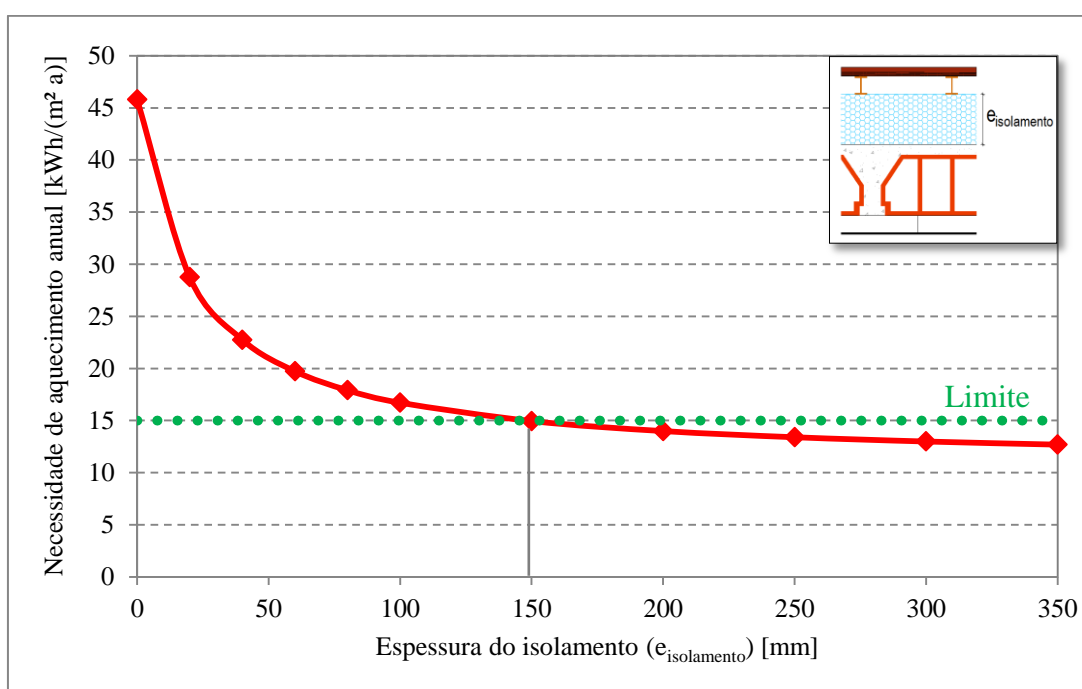


Figura 42: Necessidade de aquecimento anual em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores

Na Figura 43 é apresentada a influência da variação da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores sobre a carga de aquecimento.

A espessura de isolamento mínima a ser utilizada por forma a cumprir a norma é de 60 mm. Com esta dimensão seria respeitado o limite imposto para a estação de aquecimento, tendo em conta que é necessário cumprir uma das duas condições (necessidade de aquecimento anual ou carga de aquecimento). O aumento da espessura entre os 60 mm e os 350 mm proporciona uma diminuição na potência de aquecimento de

cerca de  $2 \text{ W/m}^2$ . Esta diminuição é considerada pouco relevante, quando se fala num aumento da espessura na ordem dos 83%.

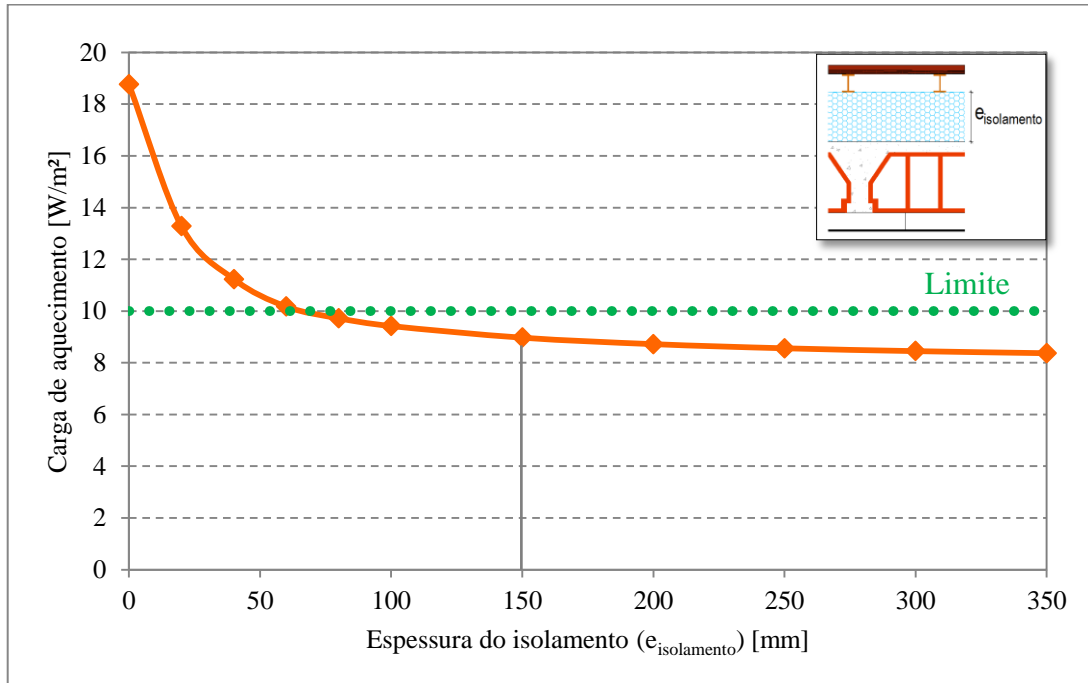


Figura 43: Carga de aquecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores

A Figura 44 apresenta a influência do aumento de espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores sobre a necessidade de arrefecimento.

Para qualquer espessura utilizada no isolamento da cobertura e em pavimentos exteriores, a necessidade de arrefecimento encontra-se sempre abaixo do limite dos  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Em oposição ao gráfico da Figura 42, com o aumento da espessura de isolamento, a necessidade de arrefecimento anual aumenta. Quanto maior a espessura de isolamento, menores são as trocas térmicas entre o interior e o exterior. O aumento da necessidade de arrefecimento visualizada não é muito elevado, mas é importante a interdependência das várias variáveis, nomeadamente a verificação neste caso das necessidades de arrefecimento.

O uso de isolamentos com espessuras generosas, acima dos 300 mm, não influencia a necessidade de arrefecimento, apresenta um comportamento assintótico.

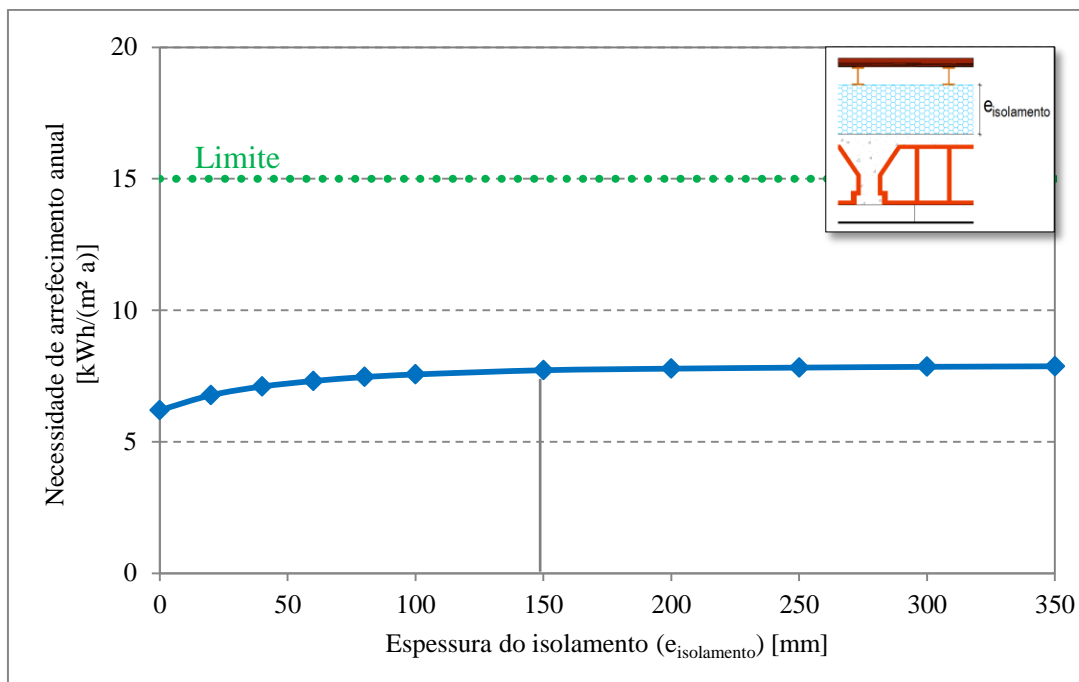


Figura 44: Necessidade de arrefecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores

A Figura 45 evidencia a influência da variação de espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores sobre a carga de arrefecimento.

A carga de arrefecimento diminui com o aumento da espessura de isolamento até este atingir cerca de 150 mm. Para valores de espessura mais elevados o valor da necessidade de arrefecimento praticamente não se altera. A cobertura está exposta a uma elevada radiação solar, portanto, quanto maior a espessura do isolamento utilizado, mais protegido termicamente está o edifício, minimizando as perdas térmicas.

Para qualquer que seja o valor de espessura do isolamento, todos os valores da carga de arrefecimento encontram-se acima dos 10 W/m<sup>2</sup>, limite imposto pela norma. Apesar de apresentar valores bastante elevados cumpre-se o critério associado à estação de arrefecimento para o limite da necessidade de arrefecimento (Figura 44).

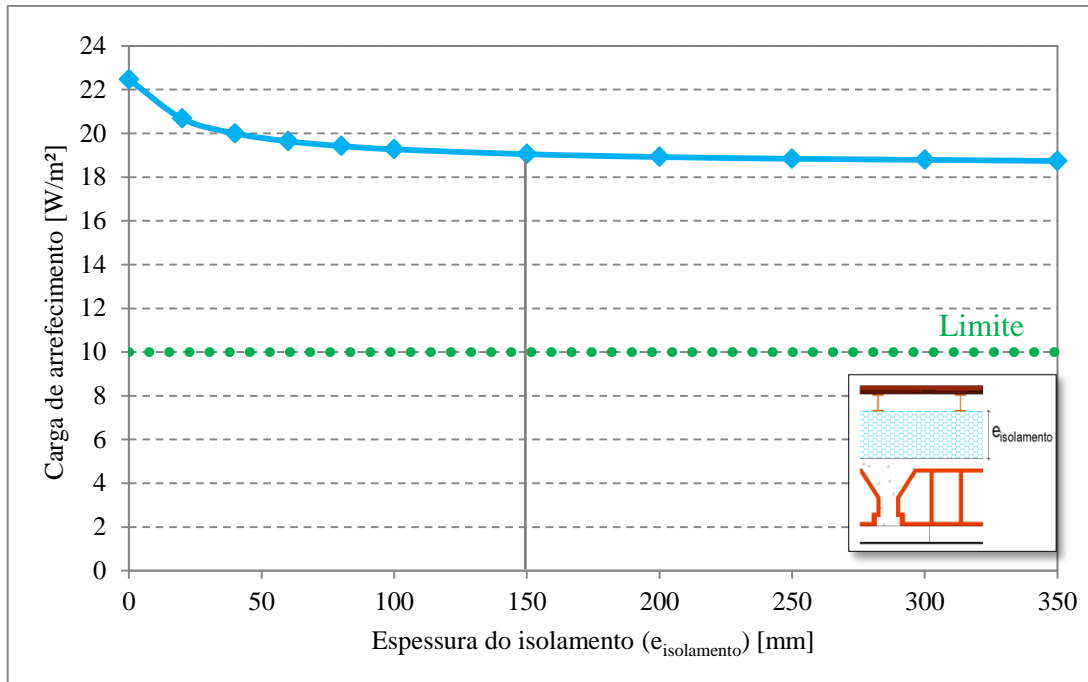


Figura 45: Carga de arrefecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores

A Figura 46 evidencia a variação da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores sobre a necessidade de energia primária.

O limite imposto pela norma é atingido facilmente, pois com uma espessura de isolamento com cerca de 10 mm a necessidade de energia primária encontra-se abaixo do limite, com  $117,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . A dimensão do isolamento tem influência no seu cálculo, porque quando aumenta, baixa a necessidade de aquecimento e por sua vez também baixa a necessidade de energia primária. É óbvia uma maior eficiência do isolamento para pequenas espessuras. Acima dos 300 mm, por mais que aumente a espessura do isolamento, a necessidade de energia primária não decresce.

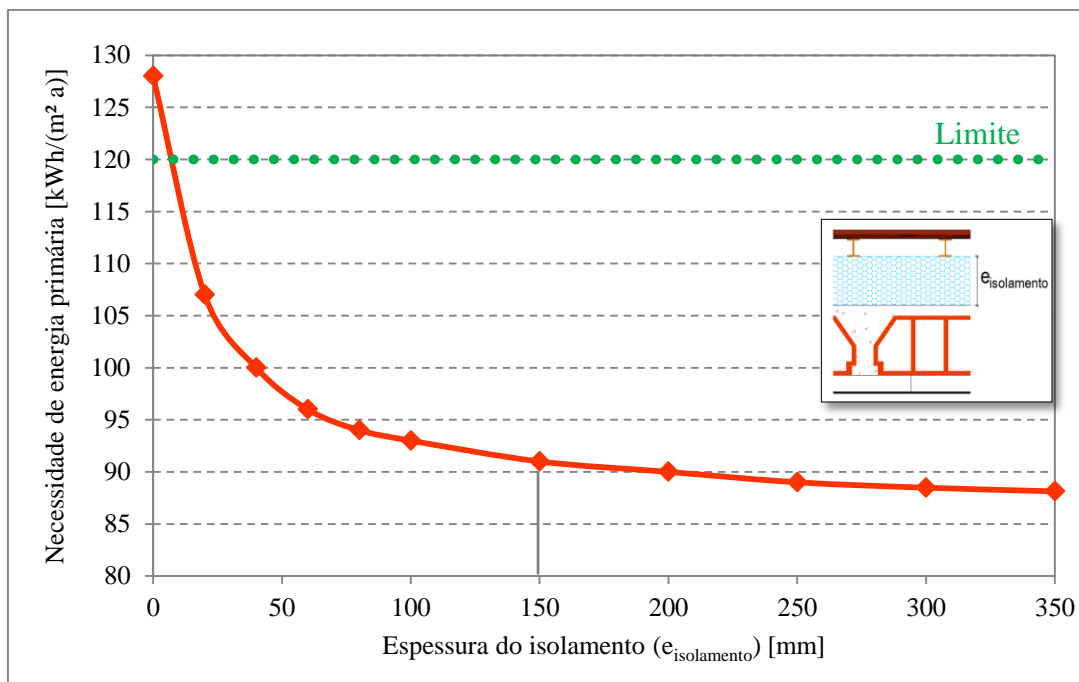


Figura 46: Necessidade de energia primária em função da espessura de isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores

A Figura 47 representa a influência da variação de espessura de isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores sobre o risco de sobreaquecimento.

Para qualquer espessura de isolamento o risco de sobreaquecimento encontra-se abaixo do limite dos 10% imposto pela norma. O aumento da espessura tem uma influência negativa, aumentando a temperatura interior atingida no Verão. À semelhança do comportamento mostrado na Figura 41, este resultado evidencia que, por se tratar de uma superfície horizontal, mais propícia à incidência da radiação solar do que nas paredes, o seu efeito é mais elevado.

Na escolha da espessura do isolamento específica para coberturas e pavimentos exteriores, deve-se ter em atenção a otimização da mesma para o cumprimento da norma. O aumento da espessura de isolamento, eleva a temperatura interior no período de Verão ligeiramente, a ultrapassar os 25°C, comprometendo o aumento do consumo energético, caso seja necessário climatizar o ar.

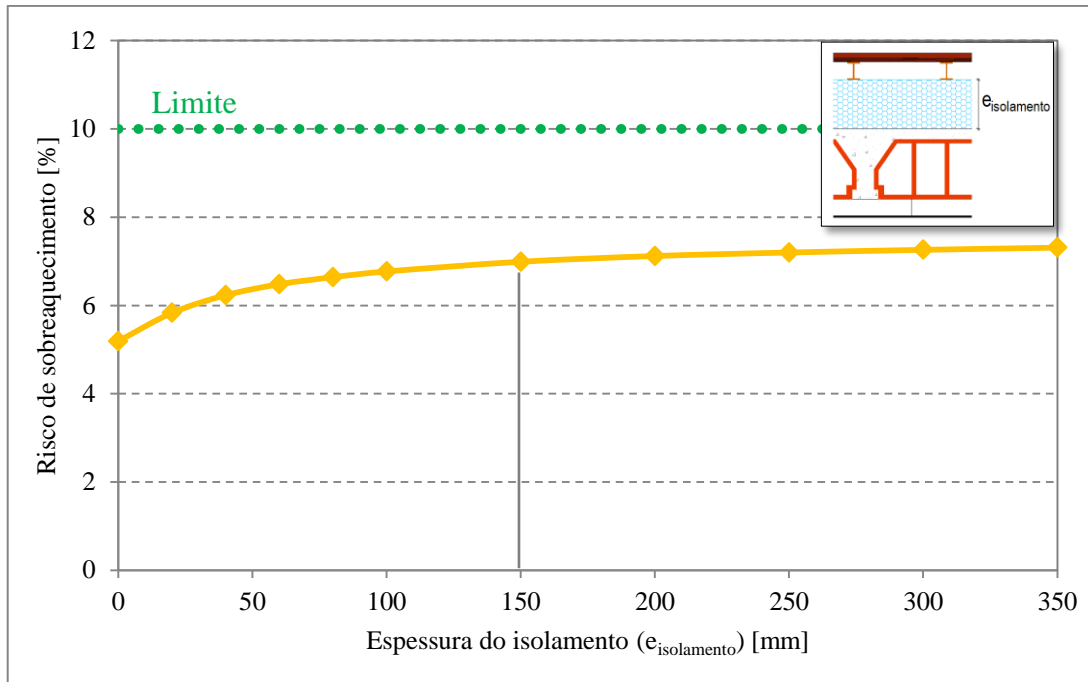


Figura 47: Risco de sobreaquecimento em função da espessura do isolamento na cobertura e nos pavimentos exteriores

### 5.3.1.3. Laje do desvão sanitário

A Figura 48 enuncia a influência da variação da espessura de isolamento da laje do desvão sanitário sobre a necessidade de aquecimento anual.

A necessidade de aquecimento anual decresce, de forma geral, à medida que a espessura de isolamento aumenta. De modo a atingir o patamar dos  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  é necessária a utilização de pelo menos 60 mm de isolamento. A solução original para este caso de estudo não contemplava isolamento na laje do desvão sanitário. Porém, com a inclusão de uma pequena espessura de isolamento, por exemplo 20 mm, conduz a uma poupança de  $3,83 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  em relação à solução regulamentar. Da solução original para a solução *Passivhaus*, obteve-se uma poupança de cerca de  $6,91 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . A poupança energética é obviamente mais significativa para pequenas espessuras de isolamento em relação à solução isenta de isolamento. A partir dos 60 mm de espessura a redução da necessidade de aquecimento passa a ser menos efetiva, como se visualiza na Figura 48.

Conclui-se assim que a espessura ideal para este caso de estudo é de 60 mm. O uso de espessuras mais elevadas não são viáveis pelas razões análogas às das paredes. A

utilização de uma espessura com 350 mm, isto é, mais 290 mm que a espessura ideal (60mm) só iria reduzir a necessidade de aquecimento anual em apenas 3.34 kWh/(m<sup>2</sup> a).

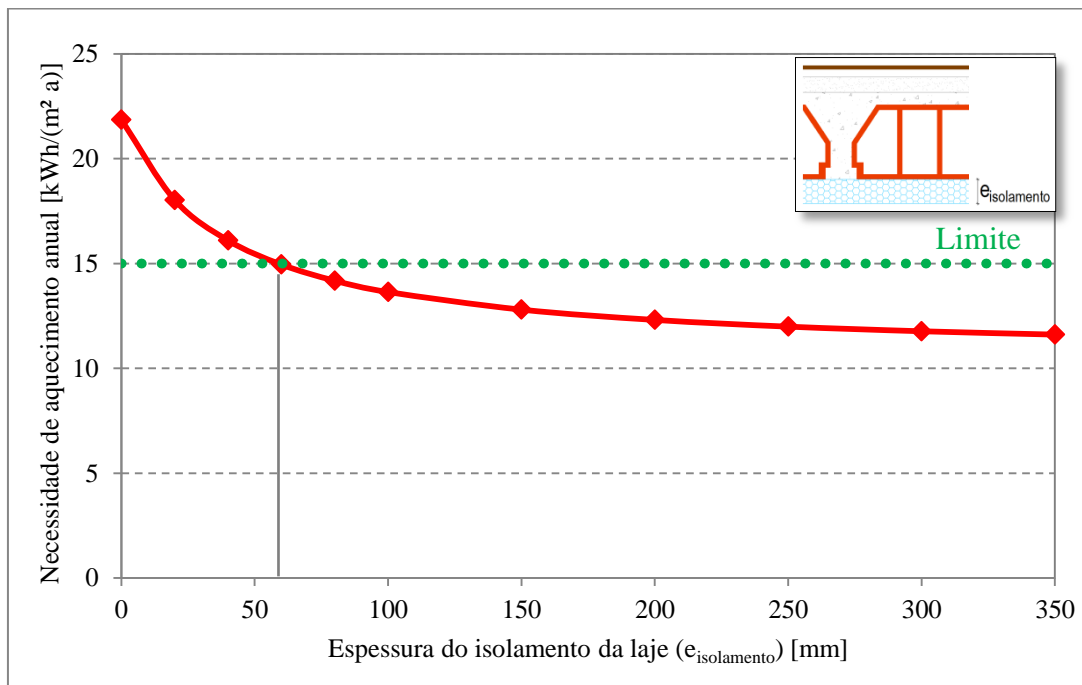


Figura 48: Necessidade de aquecimento anual em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário

Na Figura 49 está representada a influência da espessura do isolamento da laje do desvão sanitário sobre a carga de aquecimento.

O aumento da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário diminui a carga de aquecimento porque o seu aumento produz uma redução das perdas de calor pela laje, sendo menor a potência de aquecimento necessária. Para o cumprimento do requisito imposto para a estação de aquecimento apenas seria necessário a utilização de uma espessura com cerca de 20 cm, de modo a respeitar a condição dos 10 W/m<sup>2</sup> para carga de aquecimento, em oposição dos 6 cm utilizados. O benefício do aumento da espessura não é linear, como já se constatou, sendo mais significativo quando se adotam espessuras menores, reduzindo a eficiência à medida que vai aumentando a espessura. Quando se aumenta a espessura de 250 mm para 350 mm, a influência sobre a carga de aquecimento é praticamente nula, a curva apresentada na Figura 49 é assintota, ou seja, a partir de uma determinada espessura a redução da carga passa a ser insignificante.



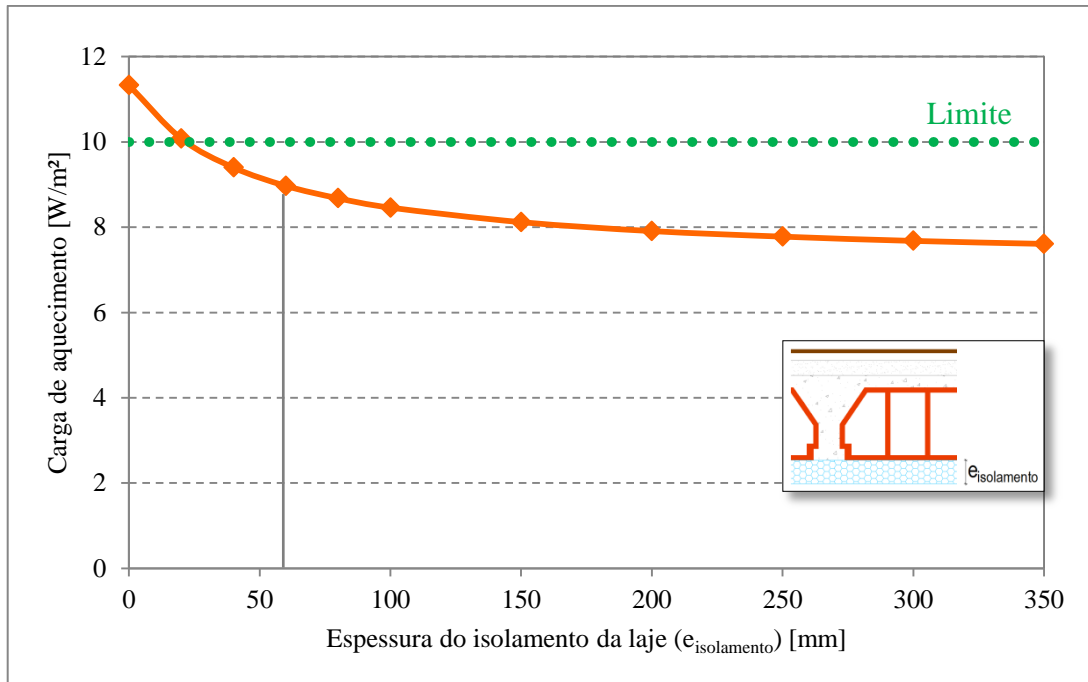


Figura 49: Carga de aquecimento em função da espessura de isolamento na laje do desvão sanitário

A Figura 50 evidencia a influência do aumento da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário sobre a necessidade de arrefecimento.

A necessidade de arrefecimento apresenta uma ligeira diminuição com o aumento da espessura de isolamento. Isto por se tratar do isolamento de uma laje do desvão sanitário que está em contato com um espaço de ar fracamente ventilado, encontrando-se a uma temperatura mais baixa que o ar exterior. Também se trata de uma laje que não está exposta à incidência da radiação solar. O uso do isolamento impede que haja trocas térmicas do interior do edifício para o desvão. Os fluxos ascendentes de ar quente que possam existir por esta envolvente opaca não são significativos, uma vez que o solo e este espaço estão a uma temperatura mais baixa a maior parte do tempo durante a estação de Verão.

Como se visualiza na Figura 50 para a estação de arrefecimento, o uso de isolamento é desnecessário.

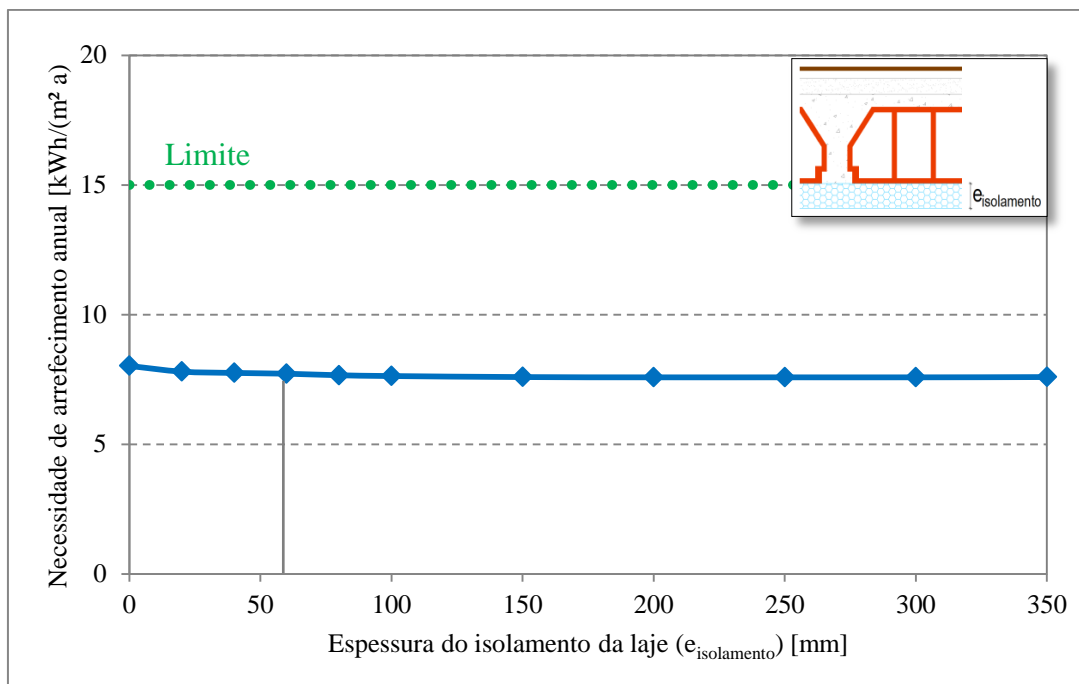


Figura 50: Necessidade de arrefecimento anual em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário

A Figura 51 representa a influência da variação da espessura de isolamento da laje do desvão sanitário sobre a carga de arrefecimento.

O aumento de isolamento na laje do desvão sanitário provoca um ligeiro aumento da carga de arrefecimento, uma vez que se está a “reter” energia. Para qualquer espessura de isolamento, todos os valores da carga de arrefecimento encontram-se acima dos  $10 \text{ W}/\text{m}^2$  impostos pela norma *Passivhaus*. O não cumprimento desta imposição não impede que haja a certificação pela norma, porque o cumprimento dos requisitos para a estação de arrefecimento, como já referido, é efetuado através de duas condições alternativas (necessidade ou carga de arrefecimento). É de ter em conta que o valor obtido para a carga de arrefecimento seja a menor possível, porque para alguns compartimentos pode ser necessário um sistema ativo de arrefecimento.

Perante a análise da Figura 51, a carga de arrefecimento mantém-se praticamente inalterada, concluindo-se que este não será um parâmetro influente na escolha da espessura de isolamento.

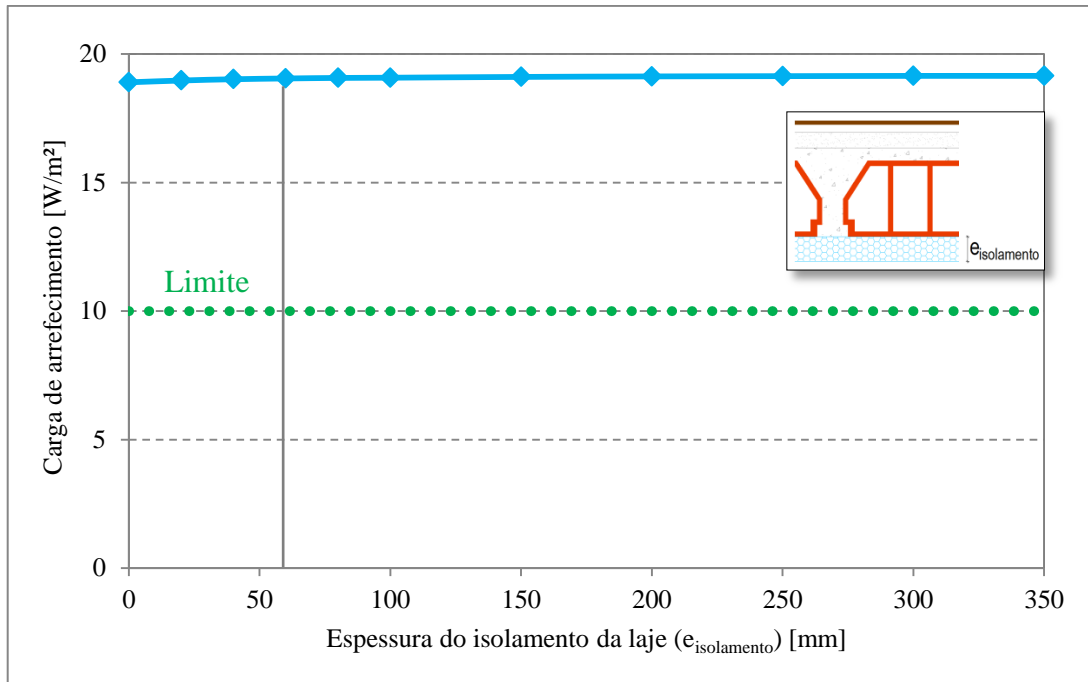


Figura 51: Carga de arrefecimento em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário

A Figura 52 enuncia a necessidade de energia primária em função da variação da espessura de isolamento da laje do desvão sanitário.

A necessidade de energia primária diminui à medida que aumenta a espessura de isolamento, mas esta diminuição não tem um comportamento linear. À medida que a espessura de isolamento é mais expressiva a poupança energética diminui, analogamente ao que sucede com outros indicadores, até se tornar nula. A variação da necessidade de energia primária apresenta um comportamento óbvio, porque quando se aumenta a espessura de isolamento a necessidade de aquecimento anual também diminui.

A necessidade de energia primária apresenta valores inferiores aos limite dos 120 kWh/(m<sup>2</sup> a) para qualquer espessura de isolamento utilizada. Apesar de todos os valores encontrarem-se longe do limite imposto, deve-se escolher uma espessura de isolamento que proporcione uma maior poupança energética. Essa espessura deverá ser inferior a 200 mm, visto que não existe nenhum benefício com a utilização de espessuras maiores, como constatado atrás.

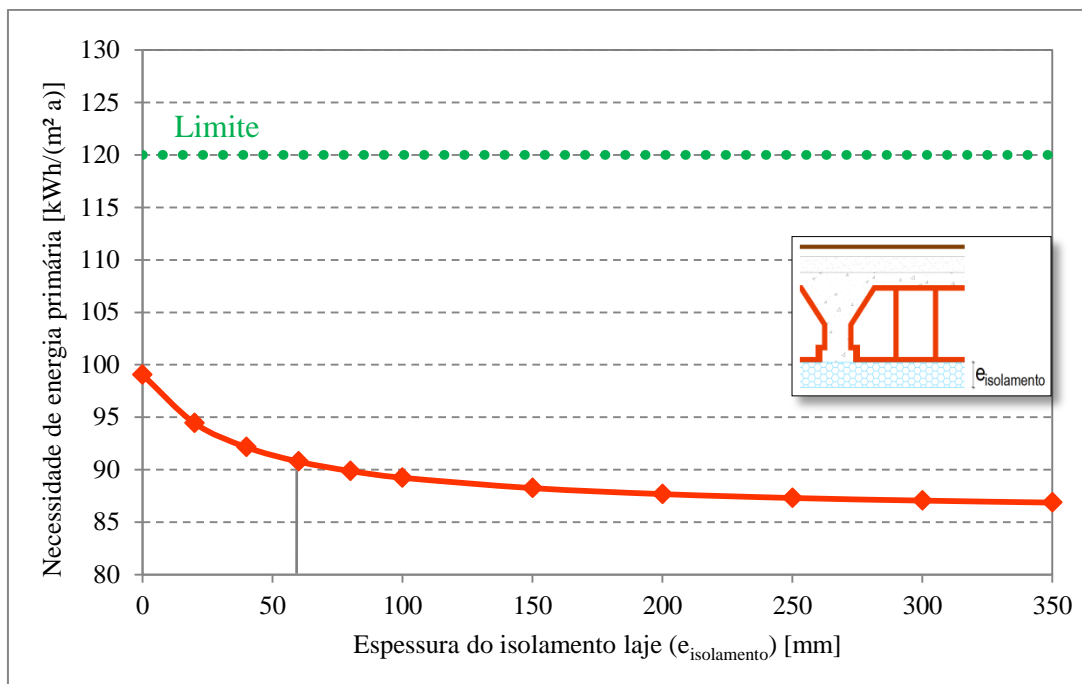


Figura 52: Necessidade de energia primária em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário

A Figura 53 evidencia a influência da variação de espessura do isolamento da laje do desvão sanitário sobre o risco de sobreaquecimento.

Observa-se que existe um ligeiro aumento do risco de sobreaquecimento à medida que a espessura de isolamento aumenta. Quanto mais expressiva é a espessura do isolamento, maior será a sua capacidade de não permitir que haja trocas de calor do interior para o exterior. Em dias de muito calor, quando a temperatura interior excede os 25°C (temperatura máxima de conforto na estação de arrefecimento), a laje de pavimento do desvão sanitário permite que haja libertação de calor. Porém, por forma a cumprir os requisitos impostos para a estação de aquecimento é necessário o uso de isolamento ao nível da laje do desvão sanitário. De forma a minimizar o risco de sobreaquecimento, a escolha da espessura do isolamento da laje do desvão sanitário deve ser considerada a menor possível e compatibilizar com a ventilação nesta estação.

Pela análise da Figura 53 verifica-se que, qualquer que seja a espessura de isolamento não tem qualquer efeito no risco de sobreaquecimento.

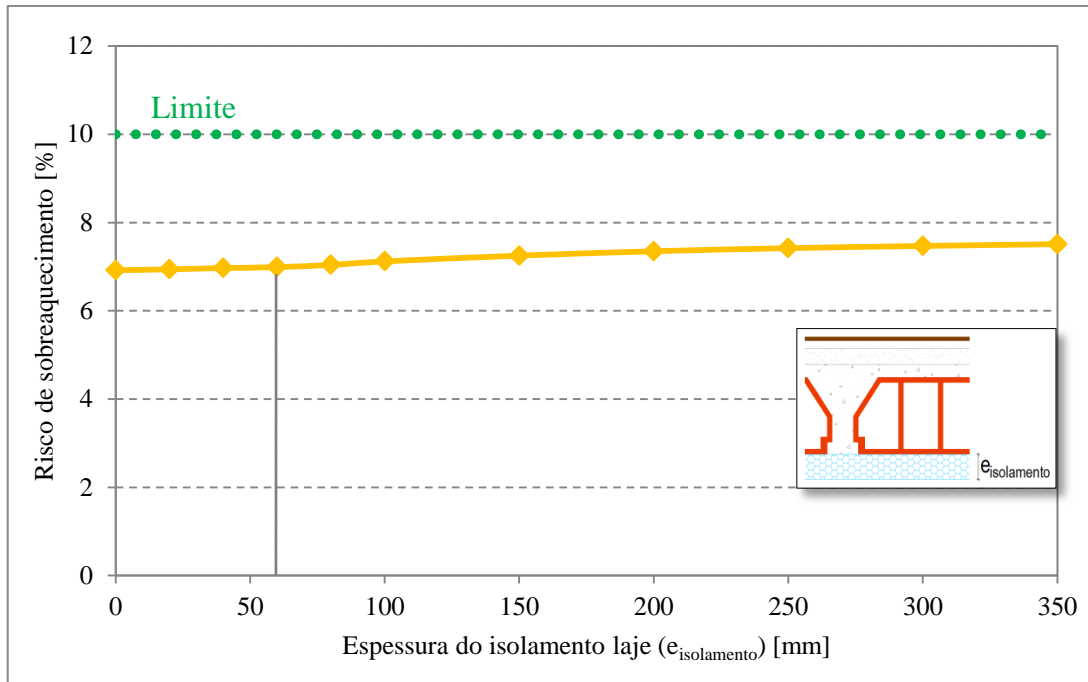


Figura 53: Risco de sobreaquecimento em função da espessura do isolamento na laje do desvão sanitário

#### 5.3.1.4. Síntese

Após a análise dos gráficos apresentados nos itens anteriores, conclui-se que será possível obter-se uma casa *Passivhaus* para Aveiro com menores espessuras do que aquelas adotadas.

A redução das espessuras de isolamento só poderá acontecer através da compatibilização de duas condições: i) cumprimento de apenas um dos limites impostos para a estação de aquecimento; ii) compatibilizar os três níveis de isolamento da envolvente exterior (paredes, cobertura e lajes de pavimento exteriores e laje do desvão). A primeira condição iria resultar em espessuras francamente mais reduzidas, mas por outro lado a necessidade de energia primária seria mais elevada, do que a obtida. Pela segunda condição o aumento do isolamento no desvão sanitário e nas paredes iria reduzir o elevado isolamento colocado na cobertura. O benefício desta solução seria praticamente nulo, além de que, para se reduzir sobre uma parte da envolvente térmica exterior seria necessário aumentar outras partes. Esse aumento da espessura poderia ser preferencialmente na cobertura e nas lajes de pavimentos exteriores, sendo que, esta seria a parte da envolvente que traria algum benefício, visto ser a envolvente mais propícia às ações atmosféricas.

A estação de aquecimento é condicionante no caso de Aveiro, visto ser o maior dos valores das necessidades nominais (Verão e Inverno). Assim optou-se pelo cumprimento das duas condições, mesmo que isso implicasse a utilização de maiores espessuras de isolamento. É necessário reduzir ao máximo as perdas pela envolvente opaca que só se consegue com o aumento da espessura de isolamento.

Na estação de arrefecimento para qualquer espessura adotada as necessidades de arrefecimento encontram-se muito abaixo dos 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) e o risco de sobreaquecimento é inferior a 10%. Como tal, o uso de espessuras um pouco mais elevadas, necessárias para o cumprimento dos requisitos na estação de aquecimento, não influenciam no cumprimento da norma a este nível.

A necessidade de energia primária é suprida através do uso de reduzidas espessuras. O uso de espessuras mais elevadas do que a mínima necessária para cumprir este requisito é benéfico, visto que reduz a necessidade de energia primária globalmente.

As espessuras adotadas têm por base um equilíbrio entre todos os requisitos da norma garantindo o conforto térmico no interior com o mínimo de consumo energético.





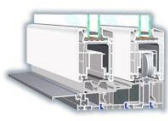

### 5.3.2. Influência dos envidraçados

Nesta subseção explora-se e discute-se a influência da envolvente translúcida no balanço térmico da casa *Passivhaus*. Neste estudo paramétrico utilizaram-se seis envidraçados diferentes, variando o tipo de caixilharia e o tipo de vidro (ver Tabela 13). Em função destes parâmetros, serão avaliadas as necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais e ainda os ganhos solares a Sul.

Como já referido anteriormente, a envolvente translúcida corresponde a 24% da área opaca da casa. Por se tratar de uma área envolvente significativa, a escolha da solução envidraçada correta é importante e comprometedora do comportamento térmico. A zona envidraçada pode proporcionar grandes benefícios energéticos, deixando passar uma boa parte da radiação solar existente na estação de Inverno de modo a reduzir as necessidades de aquecimento. Por outro lado, são as áreas dos vãos que proporcionam uma grande perda de energia térmica.

Com este estudo consegue-se determinar a solução envidraçada ideal para a casa *Passivhaus* e conhecer quais os benefícios com a utilização de outras soluções melhores.

Tabela 13: Soluções envidraçadas utilizadas no estudo paramétrico

| Solução 1                                                                         | Solução 2                                                                         | Solução 3                                                                         | Solução 4                                                                                                | Solução 5                                                                           | Solução 6                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro simples de 6 mm               | Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro simples de 6 mm               | Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro duplo de 4(16)4               | Caixilharia de alumínio com corte térmico, com vidro duplo de 4(16)4 de baixa emissividade com gás argon | Caixilharia de PVC, com vidro duplo de 4(16)4 de baixa emissividade com gás argon   | Caixilharia de PVC de alta performance, com vidro triplo de 4(16)4(16)4 de baixa emissividade com gás argon |
|  |  |  |                         |  |                          |
| $U_f = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                 | $U_f = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                 | $U_f = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                 | $U_f = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                                        | $U_f = 1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                  | $U_f = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                                          |
| $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                 | $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                 | $U_g = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                 | $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                                        | $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                   | $U_g = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$                                                                          |
| $g = 0,87$                                                                        | $g = 0,87$                                                                        | $g = 0,77$                                                                        | $g = 0,66$                                                                                               | $g = 0,66$                                                                          | $g = 0,50$                                                                                                  |

Na Figura 54 é feito a análise do impacto energético com diferentes soluções envidraçadas.

Observa-se que as necessidades de aquecimento e arrefecimento têm natural tendência a diminuir à medida que se aumenta a qualidade dos envidraçados. Das soluções envidraçadas estudadas, a única capaz de suprir as necessidades de aquecimento para a casa *Passivhaus* em Aveiro é a solução 5. Quando a eficiência da solução envidraçada é muito boa para o clima em estudo (solução 6) as necessidades de aquecimento continuam a diminuir porque as perdas pelos envidraçados são menores, mas as necessidades de arrefecimento aumentam ligeiramente. Um envidraçado mais eficiente permite potenciar ganhos solares, proporcionando um aumento dos ganhos térmicos, mas também torna o edifício mais hermético, diminuindo as perdas térmicas e consequentemente aumenta a necessidade de arrefecimento. Daí que a compatibilização com dispositivos de sombreamento e ventilação seja essencial (Seção 5.3.4 e 5.3.6).

O tipo de vidro utilizado na solução 1 e 2 é o mesmo, mantendo-se então praticamente a mesma necessidade de arrefecimento porque os ganhos solares são idênticos. A caixilharia passa a ter corte térmico, da solução 1 para a 2, reduzindo as

perdas pela caixilharia e assim as necessidades de aquecimento diminuem significativamente. O mesmo acontece na solução 4 e 5, com a utilização do mesmo tipo de vidro com uma melhoria da caixilharia, passando de alumínio com corte térmico para uma de PVC.

A influência dos envidraçados é muito menor para as necessidades de arrefecimento, pois à medida que a eficiência térmica dos mesmos aumenta, o consumo energético diminui ligeiramente, à exceção da última solução (solução 6). O fator solar ( $g$ ) dos vidros diminui para as soluções adotadas, significando que a radiação solar transmitida será menor, mas por outro lado são reduzidas as perdas de calor.

A utilização de soluções envidraçadas mais eficientes é necessária para suprir as necessidades na estação de aquecimento. No Verão as necessidades de arrefecimento encontram-se abaixo dos limites impostos para todas as soluções adotadas, como seria expectável para o clima de Aveiro, mas não será o caso de outras zonas climáticas como será exposto no Capítulo 6.

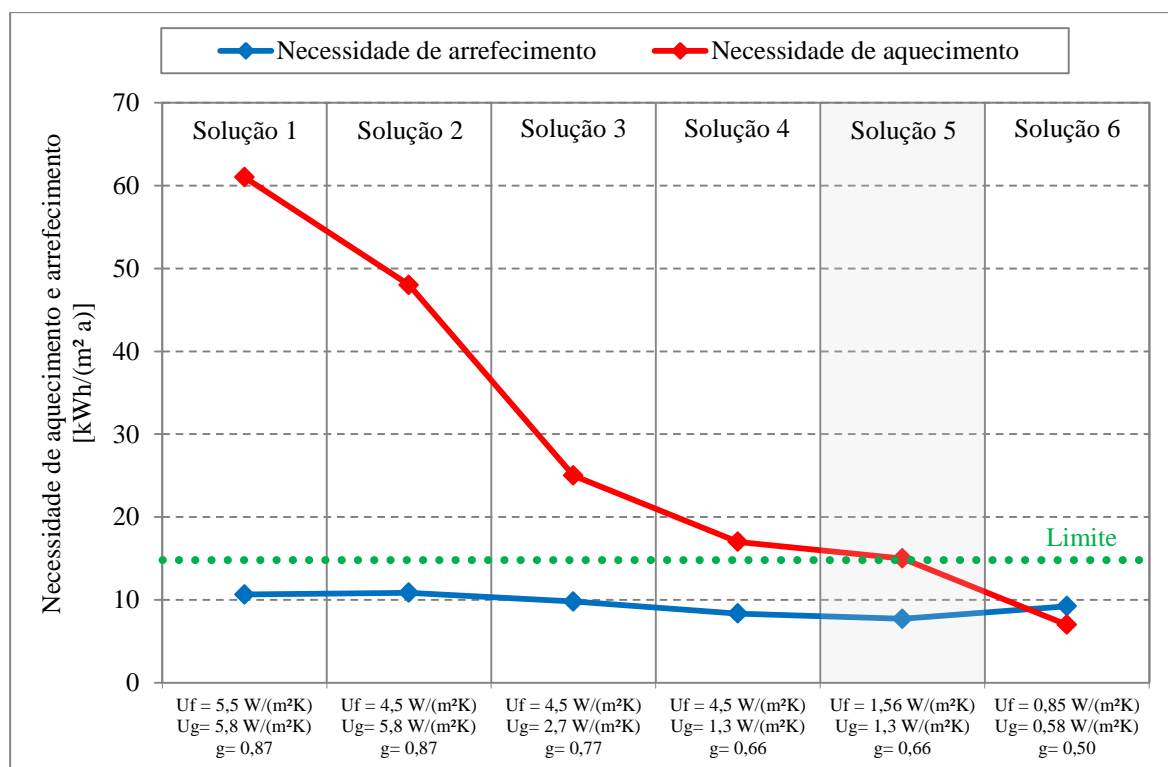


Figura 54: Necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da solução envidraçada



A Figura 55 revela a influência das diferentes soluções envidraçadas sobre a carga de aquecimento e arrefecimento.

Ambas as cargas apresentam um decréscimo com o aumento da eficiência da solução envidraçada. A carga de aquecimento atinge o cumprimento da norma com a utilização da solução 4. A carga de arrefecimento nunca se encontra abaixo do limite imposto pela norma. Com a utilização da solução 6 a necessidade de arrefecimento até aumentou ligeiramente em comparação com uma solução envidraçada menos eficiente, do ponto de vista térmico, mas a carga de arrefecimento baixou. Significa que será necessário um equipamento de arrefecimento com menor potência mas que irá funcionar mais horas.

Para o cumprimento dos requisitos para a estação de aquecimento se fosse efetuado através do limite imposto para a carga não seria necessário a utilização de um envidraçado tão eficiente. A solução 4 cumpre com o limite imposto pela norma, a potência só aumenta  $1 \text{ W/m}^2$  em relação à solução adotada. Através desta medida o investimento utilizado para os envidraçados será menor. A diferença da solução será na utilização de uma caixilharia em alumínio com corte térmico, com  $U_f = 4,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ , em vez de uma caixilharia em PVC, com  $U_f = 1,56 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ .

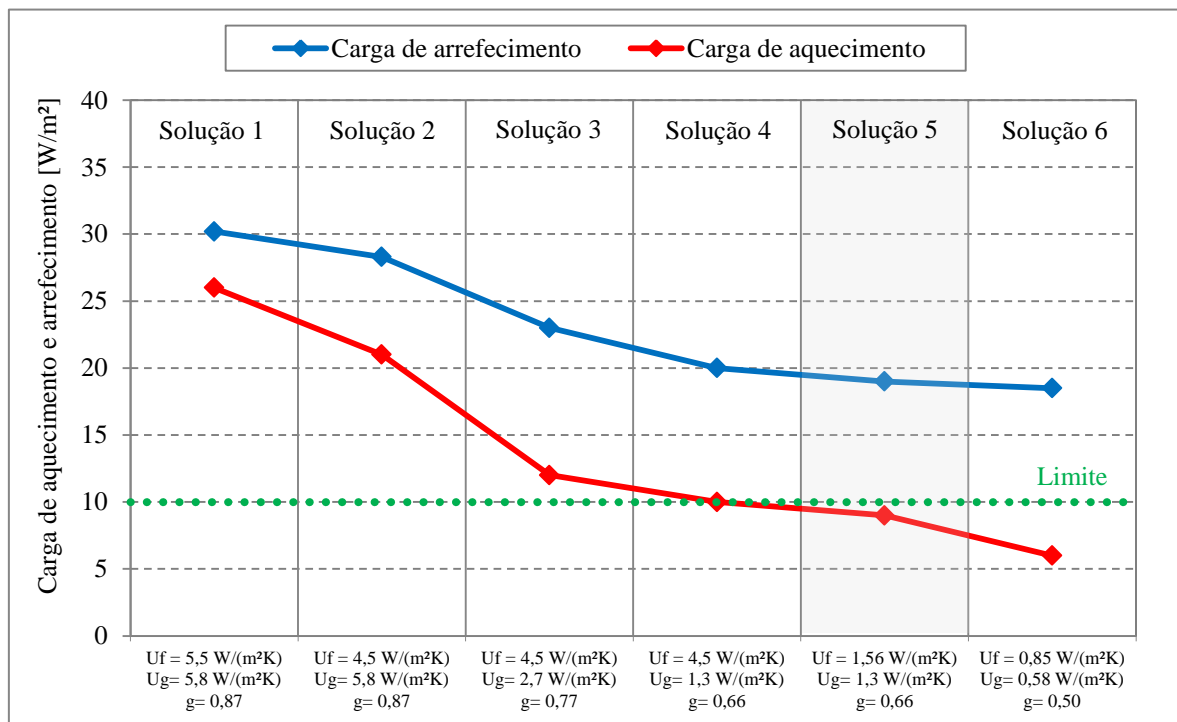


Figura 55: Carga de aquecimento e arrefecimento em função da solução envidraçada

A Figura 56 apresenta as perdas por transmissão e os ganhos solares pelos envidraçados orientados a Sul em função da solução envidraçada.

O alçado a Sul apresenta a maior área envidraçada, por isso os ganhos e as perdas apresentadas são mais significativas do que para as outras orientações. Na solução 1, as perdas proporcionadas pelos vãos envidraçados são mais elevadas do que os ganhos solares. À luz deste balanço energético, esta solução é desaconselhada porque conduz a valores de necessidade e carga de aquecimento maiores. À medida que a eficiência do envidraçado aumenta as perdas por transmissão diminuem, existindo um maior diferencial entre as perdas e os ganhos solares. Para a solução 6, a relação entre os ganhos e perdas é maior, isto acontece por se tratar de um vidro triplo de baixa emissividade. A película de baixa emissividade utilizada nos envidraçados permite que haja penetração da radiação solar para o interior do edifício e impede que saia para o exterior a radiação provocada pelo aquecimento dos objetos. A utilização deste tipo de vidro é bastante útil para a estação de aquecimento, reduzindo as perdas térmicas do interior do edifício, mas no Verão, para algumas regiões, pode conduzir ao risco de elevadas taxas de sobreaquecimento [20]. Neste caso o sobreaquecimento tem um importante impacto como se verá adiante.

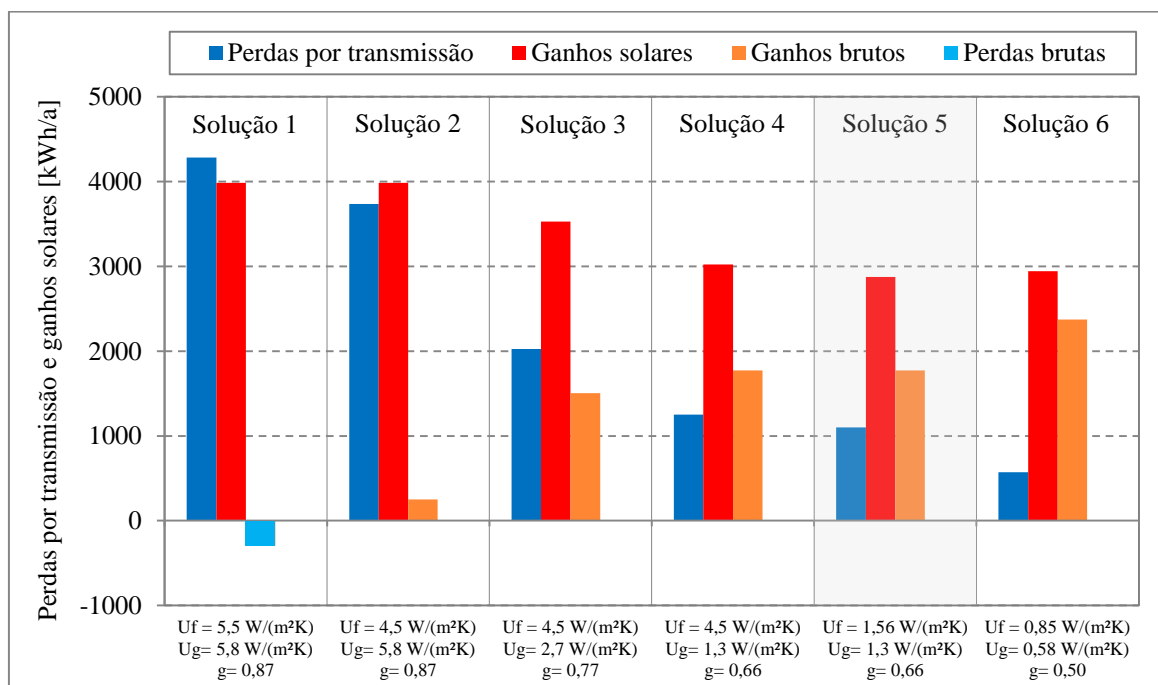


Figura 56: Perdas por transmissão e ganhos solares das soluções envidraçadas orientadas a Sul

Na Figura 57 é apresentada a influência dos envidraçados no alçado a Este nas perdas por transmissão e nos ganhos solares.

A radiação solar incidente a Este é menor que a emitida a Sul, apresentando valores muito inferiores aos anteriormente apresentados na Figura 56. Para qualquer uma das soluções envidraçadas, os ganhos solares são bastante inferiores às perdas por transmissão. Significa que na estação de aquecimento existe uma grande perda energética pelos envidraçados a Este, na qual os ganhos solares obtidos não compensam essas perdas. Ao longo das primeiras cinco soluções envidraçadas, os ganhos solares apresentam um ligeiro decréscimo, mas para a solução mais eficiente (solução 6) os ganhos solares exibem um ligeiro aumento. O aumento da eficiência energética da solução envidraçada permite reter mais energia no interior do edifício, pela redução da condutibilidade térmica ( $U_f$  e  $U_g$ ) e proporciona maiores ganhos solares, devido ao reduzido valor do fator solar ( $g$ ). É necessário reter que à medida que a solução envidraçada é melhor, menor é o diferencial entre ganhos e perdas, diminuindo assim a necessidade de aquecimento.

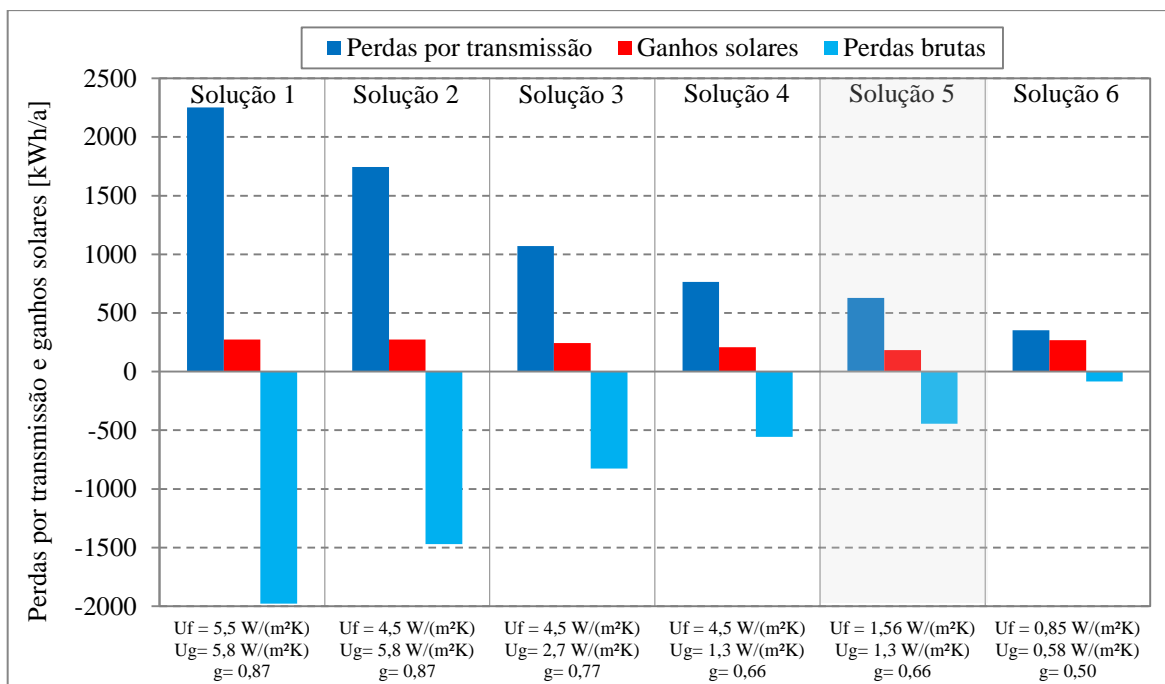


Figura 57: Perdas por transmissão e ganhos solares das soluções envidraçadas orientadas a Este

Na Figura 58 estão representadas as perdas por transmissão e os ganhos solares em função da eficiência de diferentes soluções envidraçadas, orientadas a Oeste.

A radiação incidente no alçado Oeste é praticamente a mesma que no alçado Este, mas a área envidraçada neste alçado, no caso de estudo é bastante menor, apresentando assim valores cerca de 10 vezes menores em relação a Este e cerca de 20 vezes menores em relação a Sul.

A influência da eficiência energética das soluções envidraçadas é análoga ao já concluído na Figura 56 e 57. Existe um decréscimo significativo em relação às perdas pela envolvente translúcida, à medida que se melhora a solução envidraçada. Já os ganhos solares apresentam uma ligeira diminuição com a exceção da solução envidraçada de melhor eficiência energética, em que as perdas são equivalentes aos ganhos.

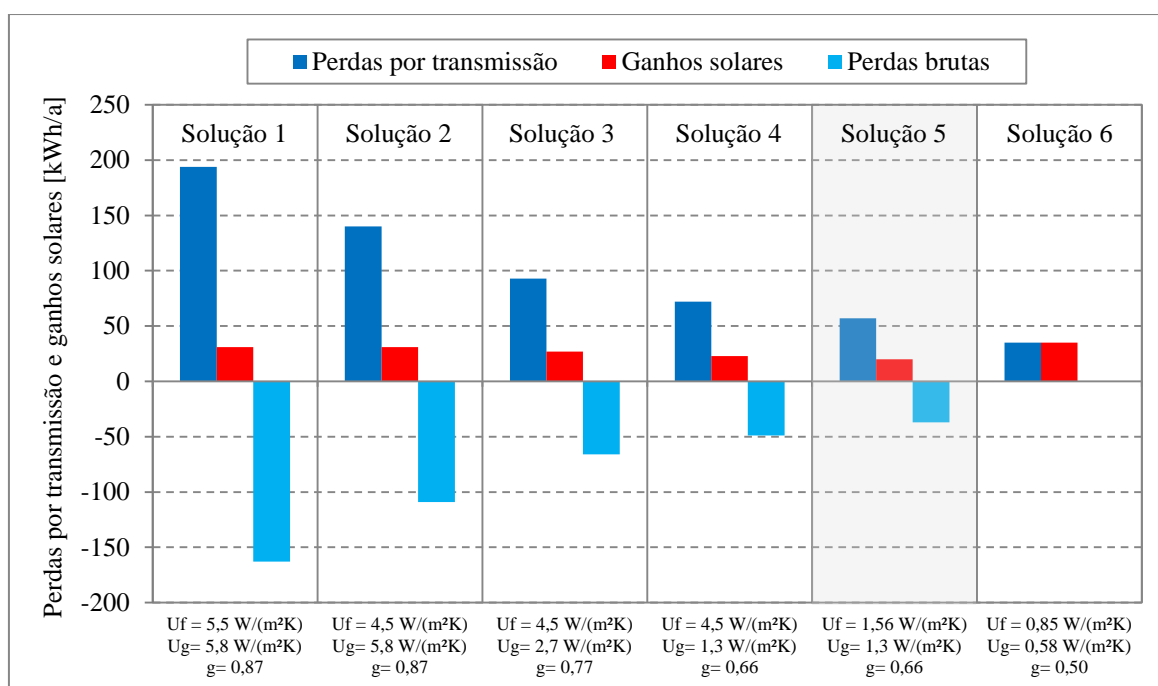


Figura 58: Perdas por transmissão e ganhos solares das soluções envidraçadas orientadas a Oeste

### 5.3.2.1. Síntese

Após a análise do estudo paramétrico efetuado para a envolvente translúcida com a melhoria da eficiência das soluções envidraçadas

A solução 5 ( $U_f = 1,56 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ ,  $U_g = 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$  e  $g = 0,66$ ), é uma solução envidraçada com caixilharia em PVC e vidro duplo de baixa emissividade com árgon. Esta solução envidraçada é suficiente para cumprir os requisitos da norma *Passivhaus* para o

clima de Aveiro, sendo por isso a melhor solução neste caso. Quando comparado com um envidraçado mais eficiente existe uma poupança no investimento inicial. Os benefícios energéticos conseguidos através da adoção de uma solução envidraçada mais eficiente (solução 6) não compensam o investimento. Na solução 6, os ganhos solares aumentam, reduzindo a necessidade de aquecimento, por outro, o risco de sobreaquecimento é mais elevado e teria que ser necessário a utilização de um sistema de arrefecimento ativo.

A solução 4 ( $U_f = 4,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ ,  $U_g = 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$  e  $g = 0.66$ ), também será uma solução viável caso o cumprimento do requisito para a estação de aquecimento seja efetuado só através do critério do limite da carga de aquecimento. O acréscimo do custo com a adoção da solução 5 não é muito elevado, passando só pela substituição de uma caixilharia em alumínio com corte térmico pela de PVC. Através deste envidraçado consegue-se atingir o limite imposto pela norma para a necessidade de aquecimento, reduzindo assim o consumo energético necessário para a estação de aquecimento quando comparado com a solução 4.

A Figura 59 sistematiza as necessidades de aquecimento, ganhos (solares e internos) e as perdas com a utilização do envidraçado da solução 5, para o ciclo anual. As necessidades de aquecimento praticamente só existem durante 6 meses do ano, de Novembro a Abril. A restante energia necessária para manter a temperatura de conforto no interior, acima dos  $20^\circ\text{C}$ , é obtido através dos ganhos solares e dos ganhos internos. Quanto maiores forem os ganhos solares e internos, menor é a necessidade de aquecimento. Durante a estação de arrefecimento os ganhos são mais elevados devido à elevada radiação solar que se faz sentir nesta época do ano, atingindo o valor máximo em Agosto e Setembro. As perdas pela envolvente do caso de estudo são proporcionais à diminuição das necessidades de aquecimento e ao aumento dos ganhos. Nos meses de maior calor, é observado um grande decréscimo das perdas, atingindo valores negativos. Isto deve-se às elevadas temperaturas no exterior e ao contrário do sucedido no Inverno, a envolvente térmica do edifício proporciona ganhos em vez de perdas térmicas.

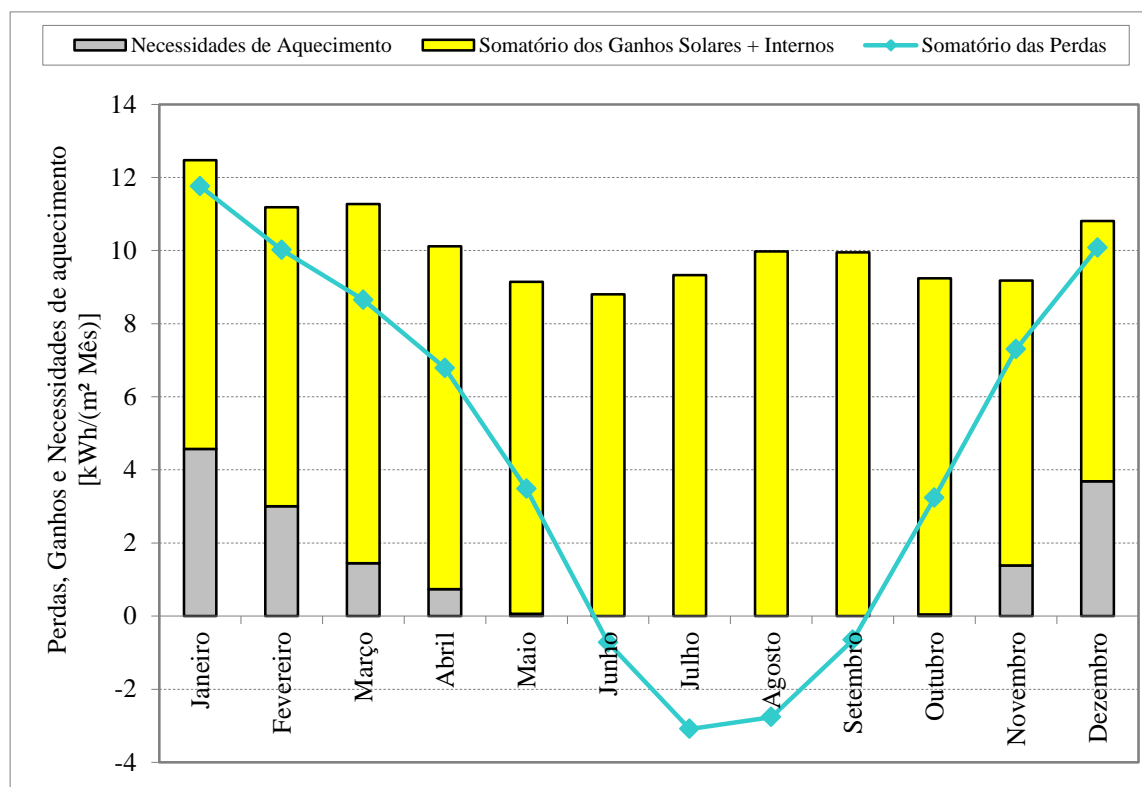


Figura 59: Perdas, ganhos e necessidades de aquecimento ao longo do ano

### 5.3.3. Influência das pontes térmicas lineares

O estudo paramétrico efetuado nesta subsecção consiste em compreender a influência das pontes térmicas lineares na certificação da casa *Passivhaus*, fazendo variar um dos coeficientes de transmissão térmica linear ( $\Psi$ ) mais expressivo (em valor e extensão) do caso em estudo (ligação da fachada com varanda).

A solução construtiva adotada na ligação da fachada com varanda possui um  $\Psi$  de 0,12 W/(m K). Com esta solução é permitido verificar a condição imposta pela norma para a necessidade de aquecimento, mas o consumo energético pode ser reduzido diminuindo o coeficiente de transmissão térmico linear desta ligação. Esta redução pode ser conseguida através da aplicação de dispositivos que isolam a zona de transição da laje de pavimento com a laje da varanda, como é exibido na Figura 60, apresentando um  $\Psi = 0,05$  W/(m K).

Na Figura 60 está representada a necessidade de aquecimento em função da variação do coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica referenciada. Este estudo paramétrico só influencia significativamente a necessidade de aquecimento, dado que os valores das outras variáveis praticamente não sofreram alterações (necessidades de

arrefecimento, risco de sobreaquecimento, etc.). À medida que o  $\Psi$  aumenta as necessidades de aquecimento também aumentam, quanto maior é o valor do coeficiente de transmissão térmica linear, maior será a quantidade de calor transmitida por metro linear da ligação.

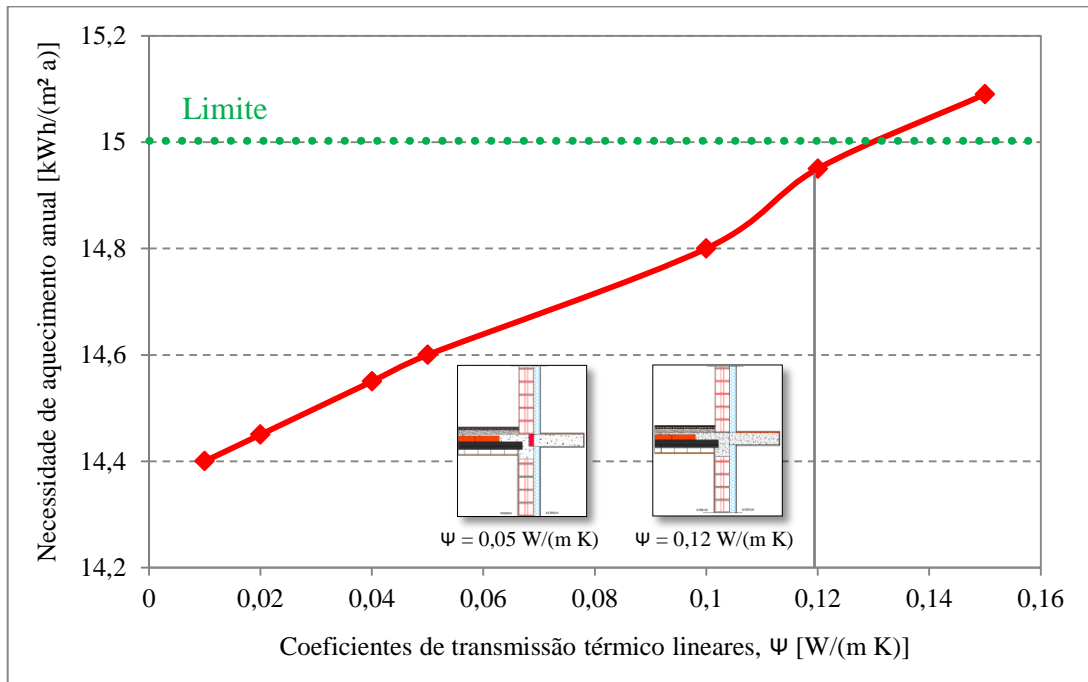


Figura 60: Necessidade de aquecimento anual em função dos coeficientes de transmissão térmica lineares

### 5.3.3.1. Síntese

As soluções construtivas adotadas permitiram que se obtivesse coeficientes de transmissão térmica lineares suficientemente baixos para se atingir os requisitos impostos pela norma *Passivhaus*.

Segundo o estudo apresentado o decréscimo da necessidade de aquecimento não é muito acentuado, porque se fez variar o  $\Psi$  apenas de uma ponte térmica. Se o clima em estudo fosse mais severo, a necessidade de aquecimento seria maior e seria necessário reduzir as perdas térmicas pela envolvente com uma conexão das pontes térmicas mais eficaz. Por forma a visar a diminuição dos coeficientes de transmissão térmica lineares, todas as pontes térmicas lineares deveriam ser tratadas com mais cuidado, promovendo o

isolamento contínuo e o tratamento das zonas particulares, isto é, promovendo o “*Thermal free bridge design*”, mantendo todos os  $\Psi$ 's abaixo de 0,01 W/(m K).

A redução dos coeficientes de transmissão térmica linear é fundamental, não só para se conseguir atingir os limites impostos, promovendo assim uma maior poupança energética, mas também para reduzir as ações a outros níveis na construção. Como exemplo, ao promover uma maior redução do  $\Psi$  de algumas pontes térmicas, poderia não ser necessário a adoção de envidraçados tão caros.

#### 5.3.4. Influência dos dispositivos de sombreamento no Verão

A utilização de dispositivos nos envidraçados na estação de arrefecimento é imprescindível.

O próximo estudo paramétrico a ser apresentado demonstra a influência dos dispositivos de sombreamento no Verão no cálculo térmico da casa *Passivhaus*. Neste estudo fez-se variar o tipo de dispositivo de sombreamento a utilizar nos envidraçados de modo a proporcionar sombreamento no Verão e determinar a sua melhor posição (interior ou exterior). Na Tabela 14 estão representados os tipos de sombreamento que podem ser utilizados e os respetivos fatores de redução. O valor do fator de redução representa a percentagem de radiação que se transmite pelo dispositivo, isto é, um envidraçado sem sombreamento possui um fator de 100%, em que toda a radiação solar incidente é capaz de atravessar o envidraçado.



Tabela 14: Fatores de redução dos diferentes tipos de dispositivos de sombreamento no Verão

|                                 | Sem sombreamento                                                                  | Lamelas verticais                                                                 | Lamelas a 45°                                                                     | Estores brancos                                                                    | Estores cinza                                                                       | <i>Blackout</i>                                                                     |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |  |  |  |  |  |  |
| Fator de redução - exterior (%) | 100                                                                               | 6                                                                                 | 10                                                                                | 24                                                                                 | 12                                                                                  | -                                                                                   |
| Fator de redução - interior (%) | 100                                                                               | 70                                                                                | 75                                                                                | 60                                                                                 | 80                                                                                  | 60                                                                                  |

A Figura 61 e 62 representam a necessidade de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior e interior, respetivamente.

Após a análise das figuras conclui-se que os dispositivos de sombreamento pelo exterior são muito mais eficazes do que pelo interior. Comparando a utilização de persianas verticais pelo exterior com o mesmo dispositivo colocado pelo interior, verifica-se que existe um decréscimo em cerca de 10 kWh/(m<sup>2</sup> a) na necessidade de arrefecimento. Caso a opção seja a colocação de dispositivos de sombreamento pelo interior, por forma a visar o cumprimento das exigências impostas pela norma, aconselha-se a utilização de lamelas verticais, estores brancos ou *blackouts*. Os dispositivos pelo interior mais eficazes são os estores brancos e os *blackouts*, promovendo ambos a mesma eficácia. Na utilização pelo exterior os mais eficazes, ou seja, aqueles que promovem um maior bloqueio à entrada da energia da radiação solar no Verão são as lamelas verticais.

Na estação de aquecimento deve ser promovida a entrada da luz solar de modo a aumentar os ganhos solares, em oposição à estação de arrefecimento, em que esses ganhos solares devem ser controlados. Para reduzir as necessidades de arrefecimento existe uma grande variedade de dispositivos de sombreamento, adaptando-se às necessidades de cada clima.

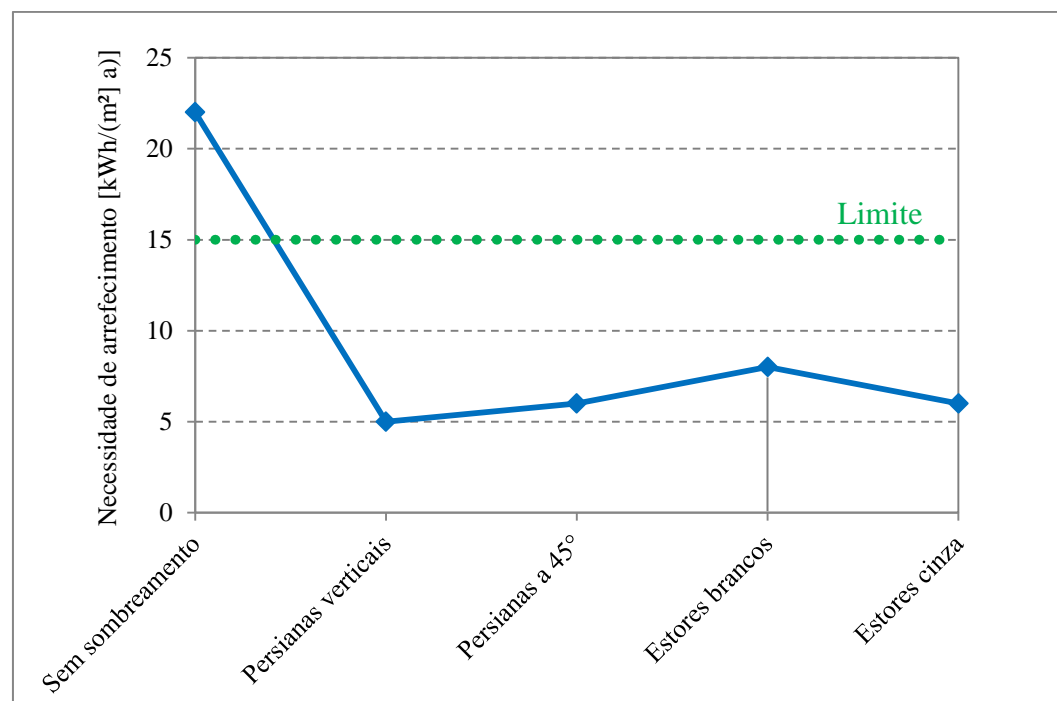


Figura 61: Necessidade de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior

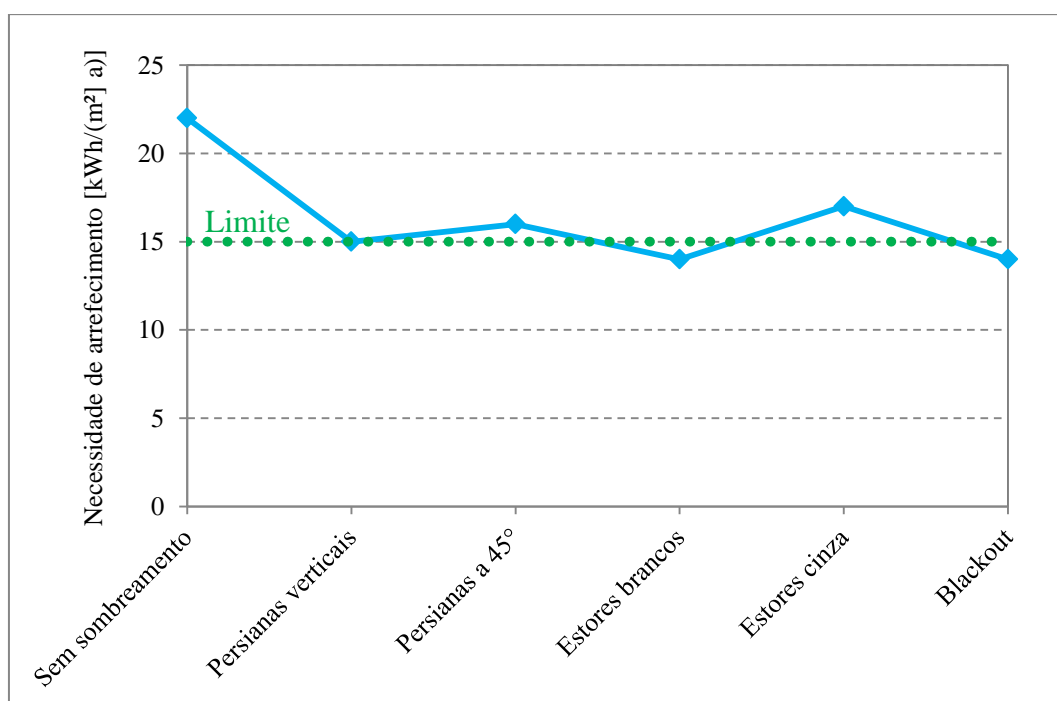


Figura 62: Necessidade de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo interior

A Figura 63 e 64 exibem a carga de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento pelo exterior e pelo interior, respetivamente.

A carga de arrefecimento no caso em estudo encontra-se sempre acima do limite imposto pela norma, ou seja, a potência necessária para o sistema de arrefecimento é sempre superior a  $10 \text{ W/m}^2$ . Por forma a cumprir o requisito imposto para a estação de arrefecimento é necessário a adoção de um dispositivo de sombreamento suficientemente eficaz para alcançar o limite para a necessidade de arrefecimento. Já foi observado que a sua influência não diminui o suficiente para cumprir a imposição, mas o uso de dispositivos de sombreamento diminui significativamente a carga de arrefecimento, principalmente se aplicados pelo exterior. No caso em estudo não foi adotado um sistema ativo de arrefecimento, mas se o clima no Verão for mais severo que em Aveiro poderá ser necessário a sua utilização. Deste modo o uso de dispositivos de sombreamento torna-se indispensável para diminuir a carga de arrefecimento.

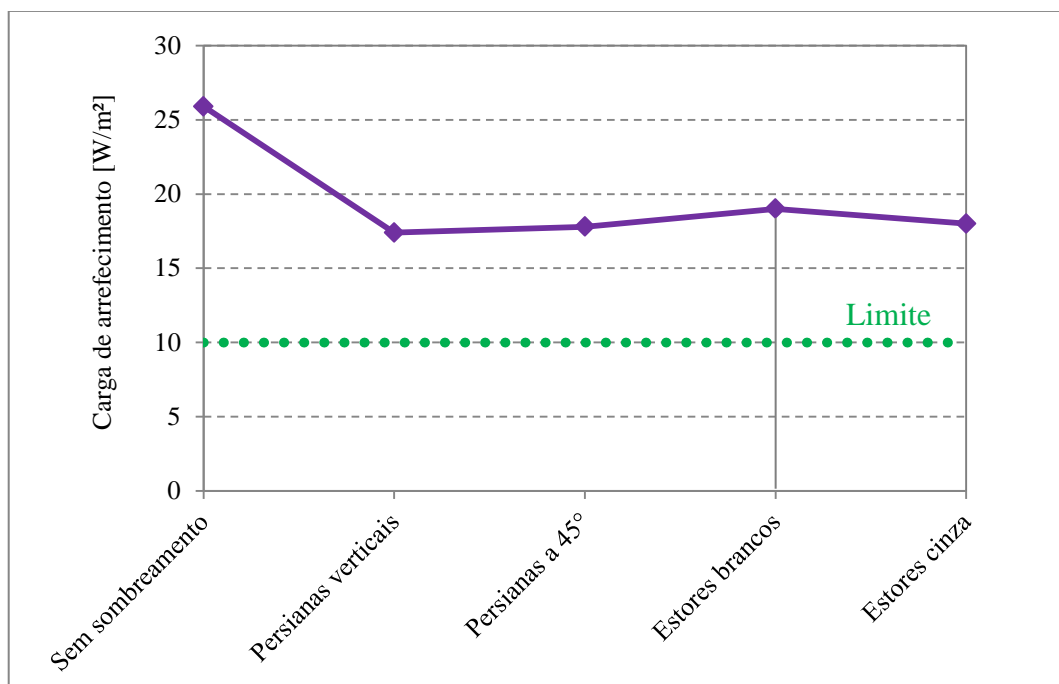


Figura 63: Carga de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior

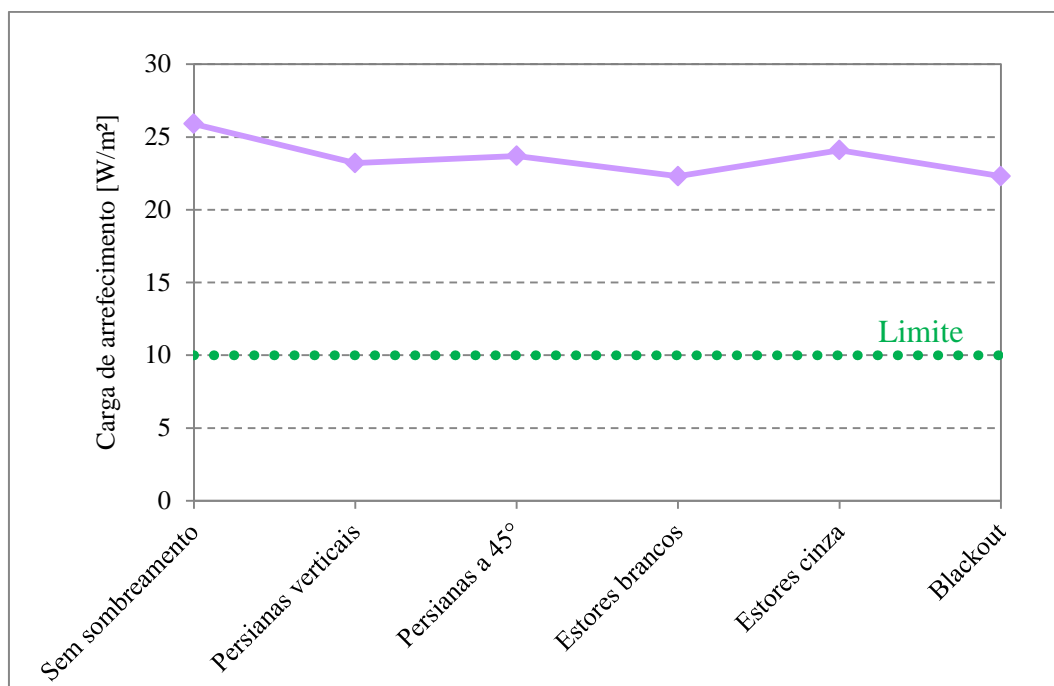


Figura 64: Carga de arrefecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo interior

As Figura 65 e 66 avaliam o risco de sobreaquecimento perante a influência do uso de dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior e interior, respetivamente.

O risco de sobreaquecimento só atinge valores inferiores a 10% (limite imposto pela norma) quando os dispositivos de sombreamento são instalados pelo exterior. As persianas verticais quando utilizadas pelo exterior da edificação tornam-se o tipo de dispositivo mais eficaz. Estas promovem uma barreira contra a radiação solar de forma eficiente proporcionando uma diminuição do risco de sobreaquecimento para os 5,8%.

O uso de dispositivos de sombreamento no Verão é indispensável, pois o nível de radiação solar nesta época do ano é bastante elevada e a envolvente translúcida é o alvo mais frágil. Através deste controlo reduzem-se os ganhos solares e, desta forma a temperatura no interior não irá atingir valores acima dos 25°C com tanta frequência.

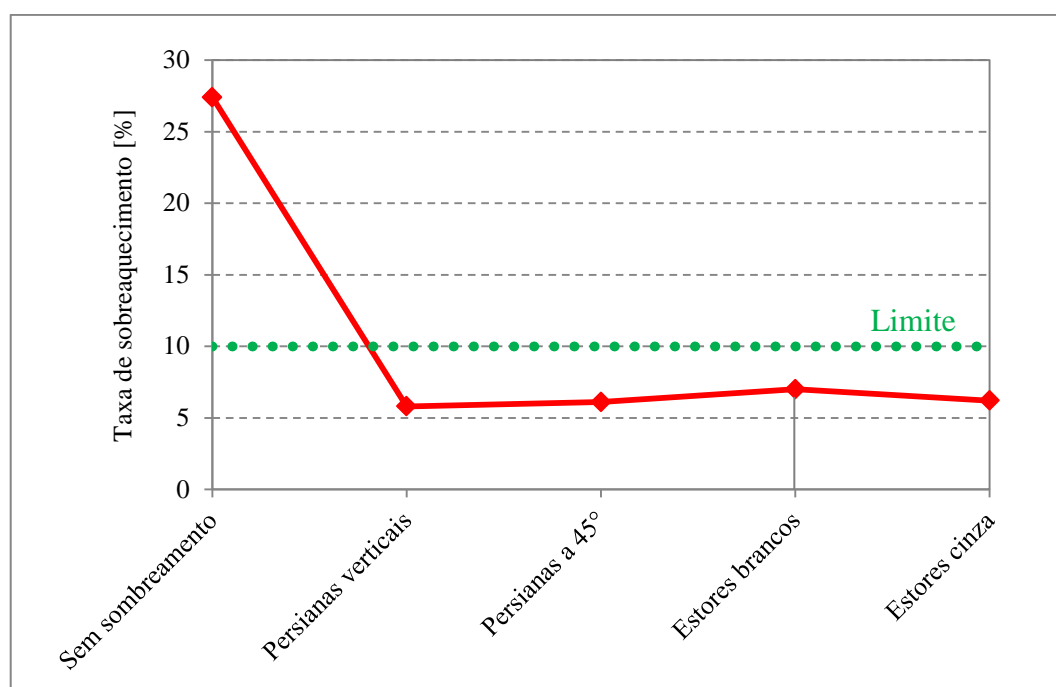


Figura 65: Taxa de sobreaquecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo exterior

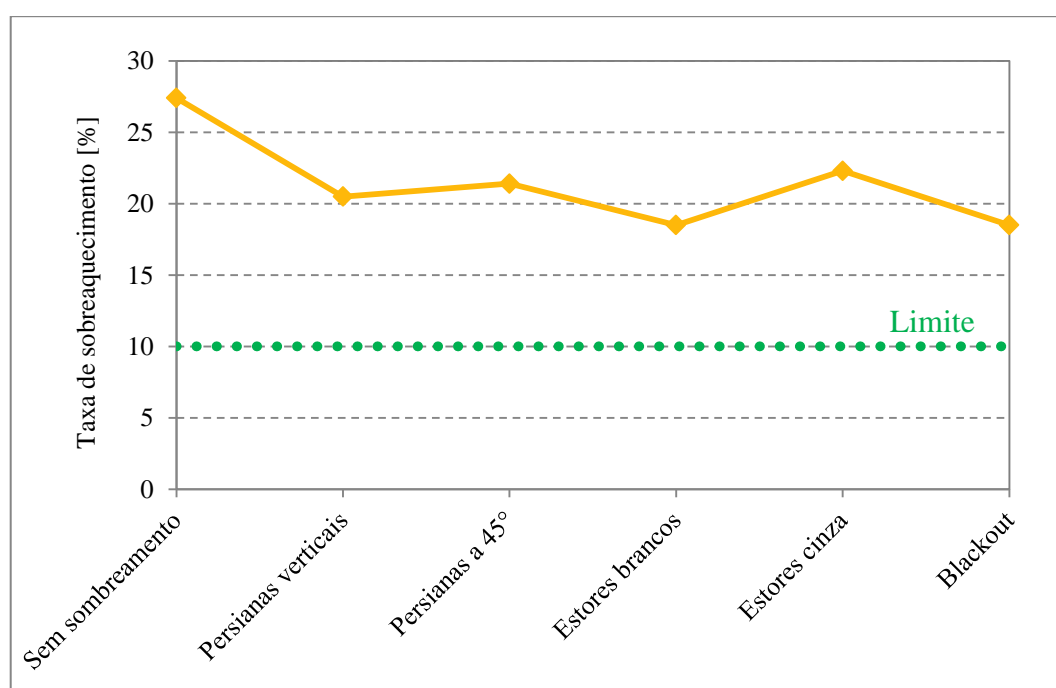


Figura 66: Taxa de sobreaquecimento em função dos dispositivos de sombreamento no Verão pelo interior

Após a análise da influência de sistemas de proteção dos vãos, conclui-se que o uso de dispositivos de sombreamento no Verão é imprescindível. Para que o projeto em estudo tenha a certificação *Passivhaus* é necessário que sejam cumpridos os requisitos impostos para a estação de arrefecimento. Para isso, os valores da necessidade de arrefecimento e do risco de sobreaquecimento devem ser inferiores ou iguais ao limite imposto e só se consegue atingir estas condições com o uso de dispositivos de sombreamento pelo exterior, independentemente da excelente ou máxima qualidade da tipologia do envidraçado.

### 5.3.5. Influência da eficiência do sistema de ventilação

O estudo paramétrico a seguir apresentado avalia a influência sobre as necessidades energéticas nominais do caso de estudo da eficiência do sistema de ventilação. Segundo a norma, a eficiência mínima que o sistema de ventilação deve possuir é de 75%, pelo que os valores inferiores utilizados neste estudo só serviram para avaliar o seu comportamento face a eficiências muito baixas.

A Figura 67 revela o comportamento linear da variação da necessidade de aquecimento anual em função da eficiência do sistema de ventilação. A necessidade de aquecimento decresce com o aumento da eficiência. Quanto maior a eficiência do sistema de recuperação de calor, maior será a quantidade de calor que se consegue recuperar do ar extraído. Esse calor é transferido para o ar insuflado através de um permutador de fluxos cruzados, e deste modo, o ar fornecido para o interior não necessita de aquecimento adicional por menor diferencial térmico e por isso menor necessidade de energia.

A Figura 68 evidencia a influência da eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor na carga de aquecimento e a sua relação linear. A linha de tendência da carga de aquecimento é decrescente à medida que a eficiência do sistema aumenta. O limite imposto dos  $10 \text{ W/m}^2$  é atingido com um sistema de ventilação com 50% de eficiência. Como não é permitida uma eficiência inferior a 75%, a carga de aquecimento mínima resultante para este estudo é de  $9 \text{ W/m}^2$ .

A Figura 69 mostra a necessidade de energia primária em função da eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor. Para qualquer valor de eficiência, todos os valores da necessidade de energia primária encontram-se muito abaixo do limite imposto pela norma. No Inverno, quanto maior for a recuperação de energia do sistema de

ventilação, menor será a energia dispensada para o aquecimento do mesmo, consequentemente a necessidade de energia primária também diminui.

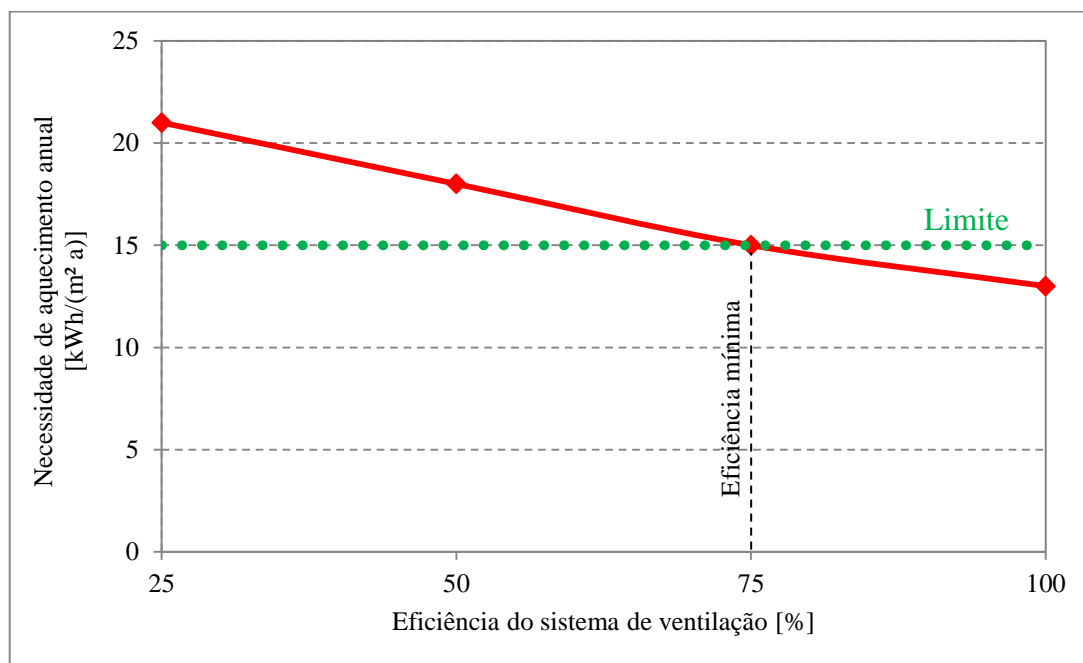


Figura 67: Necessidade de aquecimento anual em função da eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor

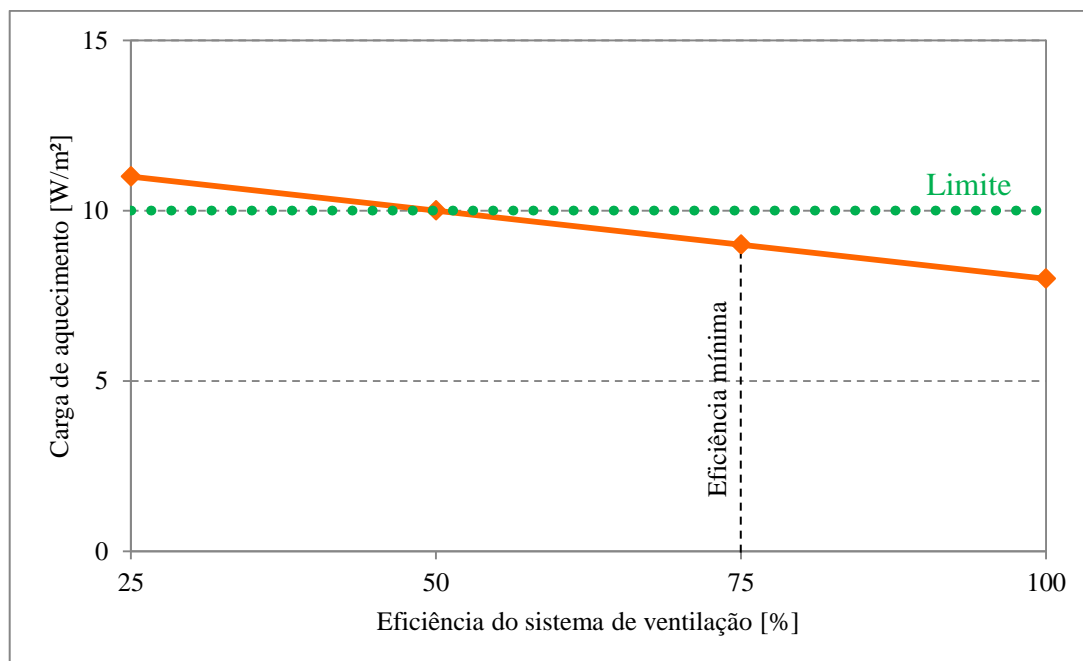


Figura 68: Carga de aquecimento em função da eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor

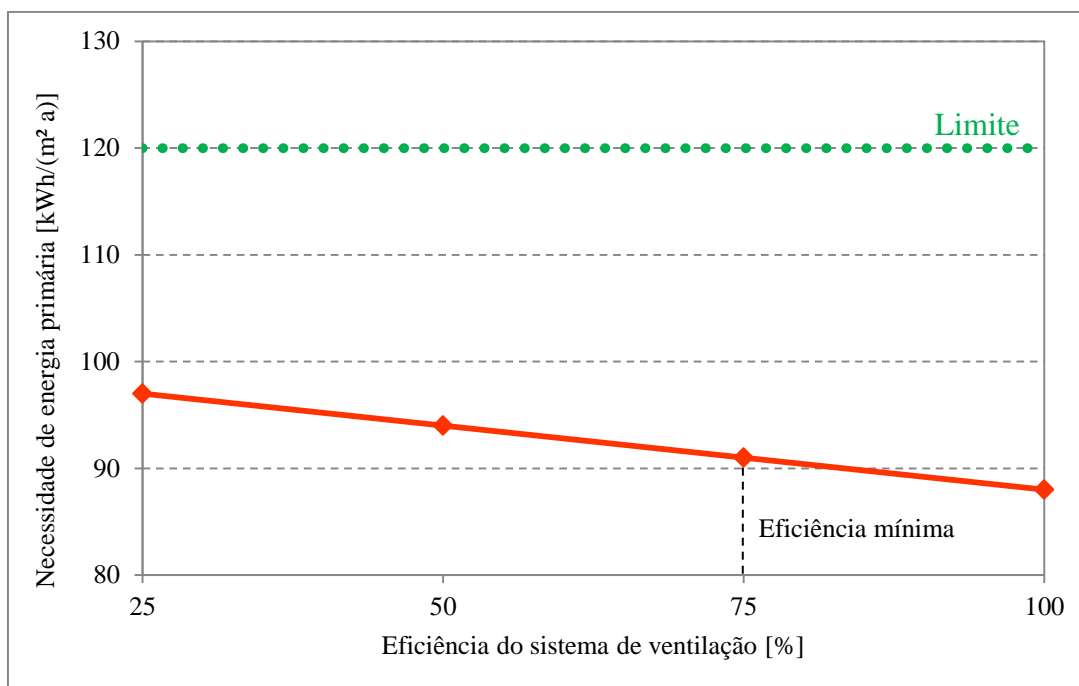


Figura 69: Necessidade de energia primária em função da eficiência do sistema ventilação com recuperação de calor

#### 5.3.5.1. Síntese

A eficiência do sistema de ventilação só influencia as necessidades de aquecimento, carga de aquecimento e necessidade de energia primária. À medida que a eficiência aumenta as necessidades energéticas nominais diminuem. A eficiência não influencia as necessidades energéticas para a estação de arrefecimento porque o sistema de arrefecimento não se encontra ativo, apenas se encontra em funcionamento para renovação do ar interior (em modo *bypass*).

O uso de um sistema de ventilação com uma eficiência elevada, acima dos 75%, contribui para a diminuição das necessidades energéticas nominais, sendo um requisito de elevada importância que deve ser tido em conta aquando a sua escolha.



### 5.3.6. Influência da taxa de ventilação

O estudo paramétrico apresentado de seguida avalia a influência sobre os indicadores da norma *Passivhaus* em função da taxa de ventilação. Para este estudo fez-se variar a taxa de renovação de ar do sistema de ventilação. Segundo a norma, a taxa de renovação mínima e máxima é de  $0,3 \text{ h}^{-1}$  e de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , respetivamente.

Na Figura 70 é evidenciada a influência da taxa de ventilação sobre necessidade de aquecimento e arrefecimento anual.

A necessidade de aquecimento anual aumenta em função do aumento da taxa de renovação do ar. Quanto maior for a renovação do ar interior, maiores são as perdas térmicas, logo será necessária mais energia para manter a mesma temperatura de conforto no Inverno. Com uma renovação de  $0,4 \text{ h}^{-1}$  é possível alcançar o limite imposto pela norma. A influência da taxa de renovação do ar sobre a necessidade de arrefecimento, é praticamente nula, mantendo-se sempre com valores próximos dos  $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Este fenómeno acontece porque, durante estação de arrefecimento o diferencial entre a temperatura exterior e o interior é baixo, e quando se aumenta a taxa de ventilação a temperatura do ar interior mantém-se estável.

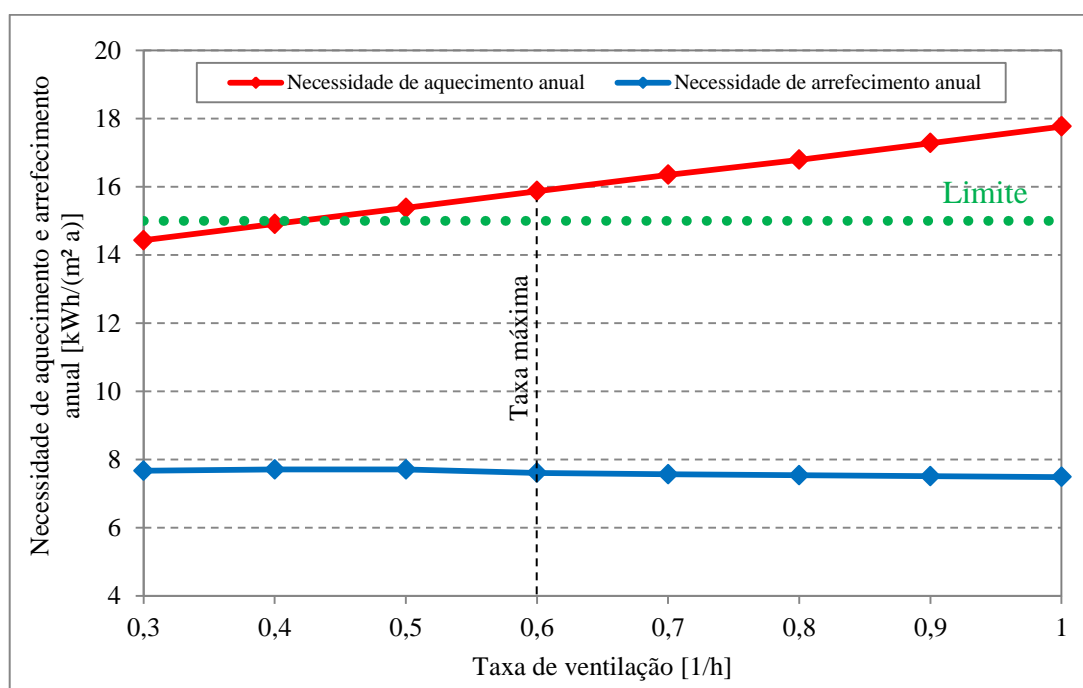


Figura 70: Necessidade de aquecimento e arrefecimento anual em função da taxa de ventilação

A Figura 71 revela a influência da taxa de ventilação sobre a carga de aquecimento e arrefecimento.

A linha de tendência da carga de aquecimento é crescente com o aumento da taxa de ventilação, mas apresenta pouca influência no seu aumento. Para qualquer taxa de ventilação, a carga de aquecimento apresenta valores abaixo da condição imposta para a estação de aquecimento de  $10 \text{ W/m}^2$ . A influência da taxa de ventilação sobre a potência necessária para manter o interior climatizado aumenta em função da variação da taxa de renovação do ar. A carga de arrefecimento é sensível à variação da taxa de ventilação, contrariamente ao observado na Figura 70, em que as necessidades de arrefecimento quase não se alteram. Ou seja, à medida que há um aumento da taxa de renovação do ar, o sistema de ventilação requer mais potência, mas necessita de menos horas de funcionamento para manter a mesma temperatura de conforto. Para qualquer taxa de ventilação utilizada todos os valores da carga de arrefecimento encontram-se acima do limite imposto, sendo que a condição imposta para a estação de arrefecimento terá que ser verificada através do limite dos  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  para a necessidade de arrefecimento anual.

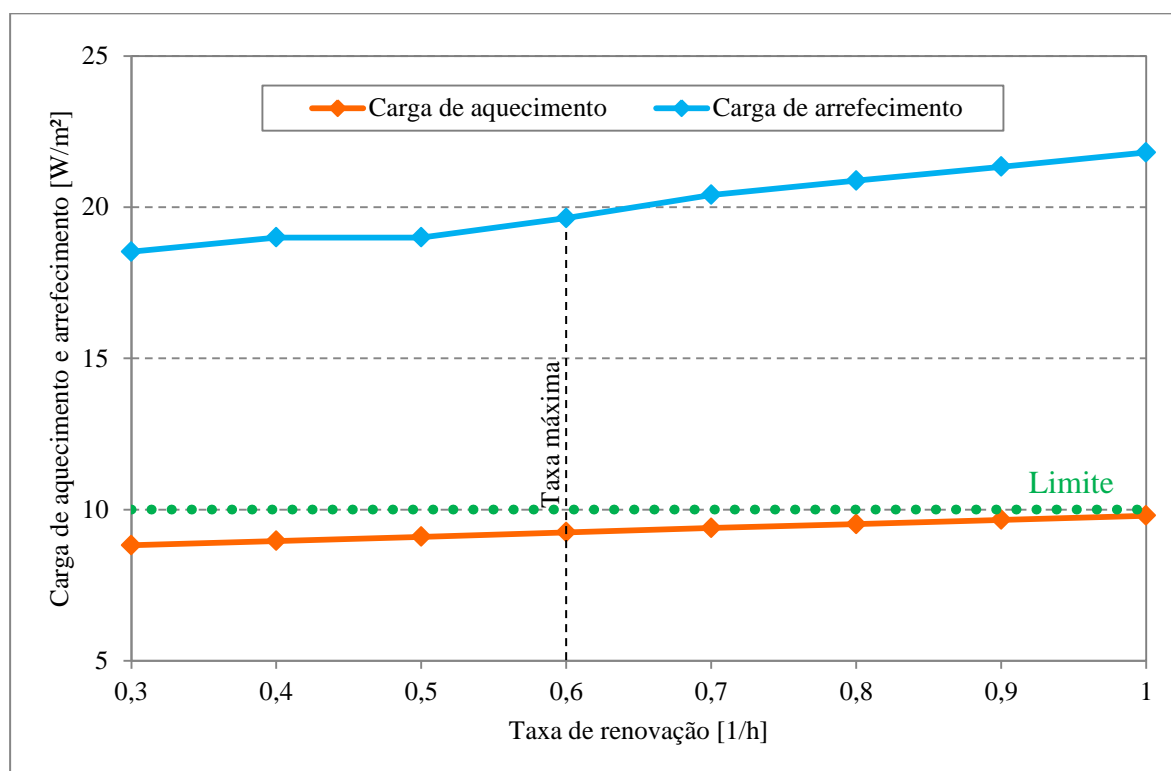


Figura 71: Carga de aquecimento em função da taxa de ventilação

A Figura 72 revela a influência da taxa de ventilação na necessidade de energia primária, apresentando uma tendência crescente com o aumento da taxa de renovação do ar. Esta necessidade só contempla a energia necessária para o aquecimento. À medida que a taxa de ventilação aumenta, mais energia é consumida pelo sistema para o aquecimento interior, por sua vez aumenta a necessidade de energia primária.

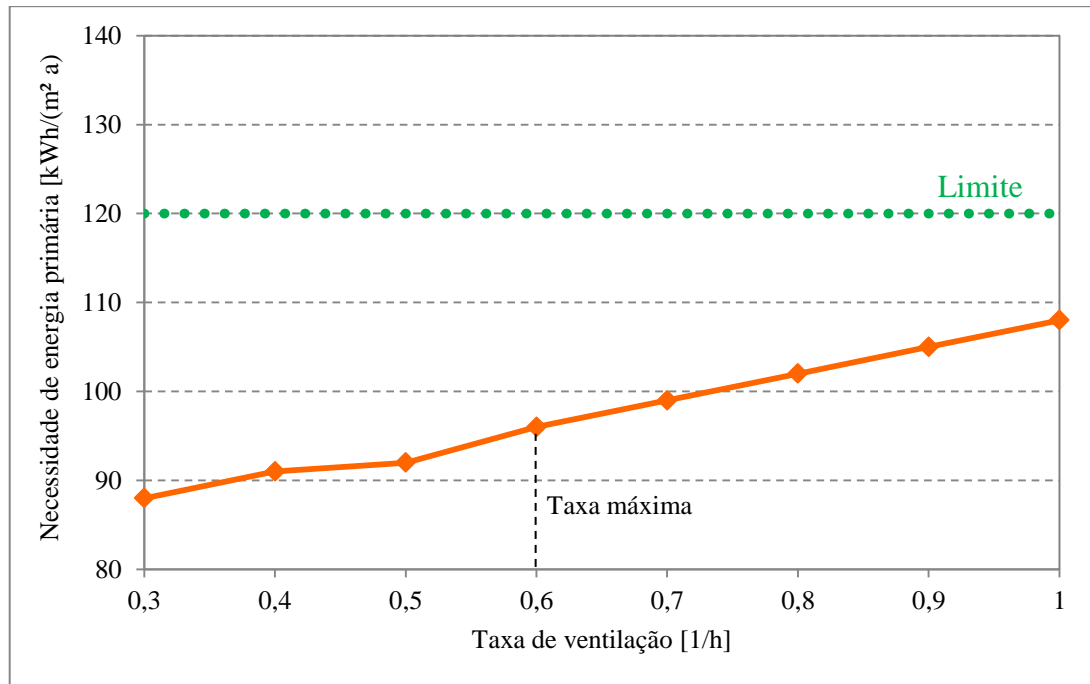


Figura 72: Necessidade de energia primária em função da taxa de ventilação

A Figura 73 apresenta a influência sobre o risco de sobreaquecimento do aumento da taxa de ventilação. O risco de sobreaquecimento é tanto menor quanto maior a taxa de renovação do ar. O seu aumento faz diminuir a temperatura interior e assim diminui-se a frequência de excedência da temperatura dos 25°C.

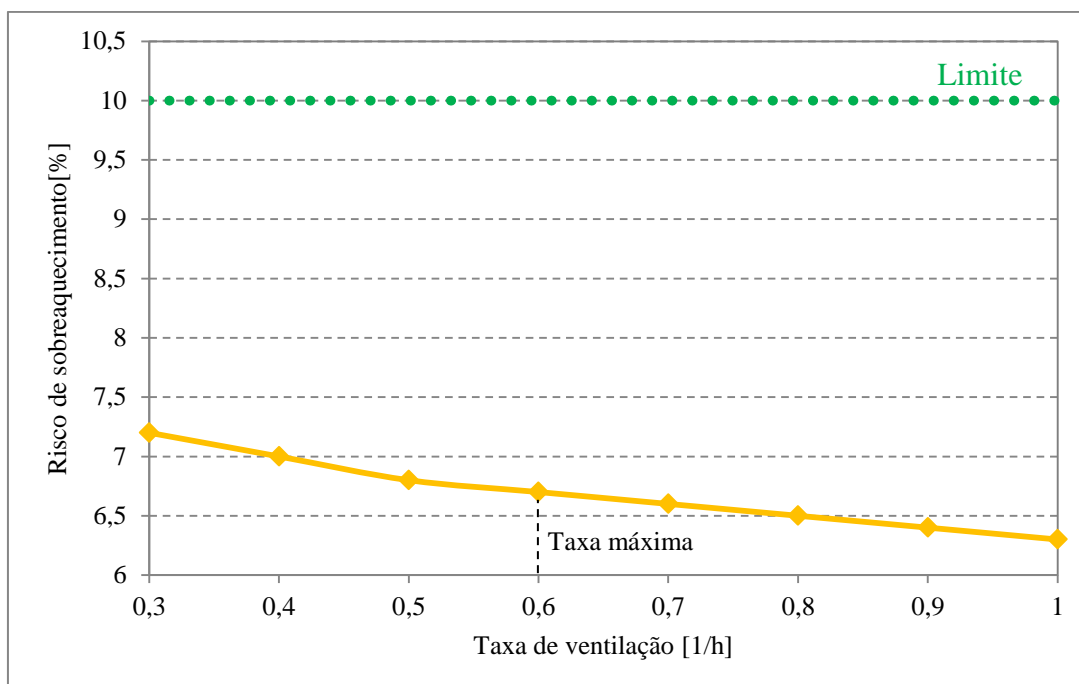


Figura 73: Risco de sobreaquecimento em função da taxa de ventilação

#### 5.3.6.1. Síntese

O aumento da taxa de ventilação é benéfico quando existe risco de sobreaquecimento. Quanto mais se renovar o ar, menor será a temperatura atingida no interior por promover a perda térmica. Para climas com Invernos mais severos, que possuam necessidades de aquecimento mais elevadas, a diminuição da taxa de ventilação reduz as necessidades e assim consegue-se atingir mais facilmente a certificação *Passivhaus*, mas descurando a qualidade do ar interior.

#### 5.3.7. Influência da reorientação dos envidraçados a Sul

O estudo paramétrico tratado nesta subseção traduz a influência sobre os indicadores da norma *Passivhaus* em função da reorientação dos envidraçados a Sul, que corresponde a 47% da área envidraçada, neste caso de estudo. Neste reorientaram-se os envidraçados a Sul, desde o ponto cardinal Oeste a Este.

A Figura 74 exhibe a influência da reorientação dos envidraçados a Sul sobre as necessidades de aquecimento e arrefecimento anuais. À medida que a orientação dos envidraçados vai de Oeste para Sul, a necessidade de aquecimento diminui, voltando a

aumentar quando se reorienta de Sul para Este. Por forma a cumprir o requisito imposto pela norma, dos  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ , para a necessidade de aquecimento, a orientação do edifício deverá ser aquela para o qual foi efetuada a otimização deste caso de estudo, com a maior área envidraçada orientada a Sul. Para todas as outras reorientações não é possível cumprir este requisito. Nota-se que a necessidade de arrefecimento anual encontra-se abaixo do limite dos  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  para qualquer orientação dos envidraçados.

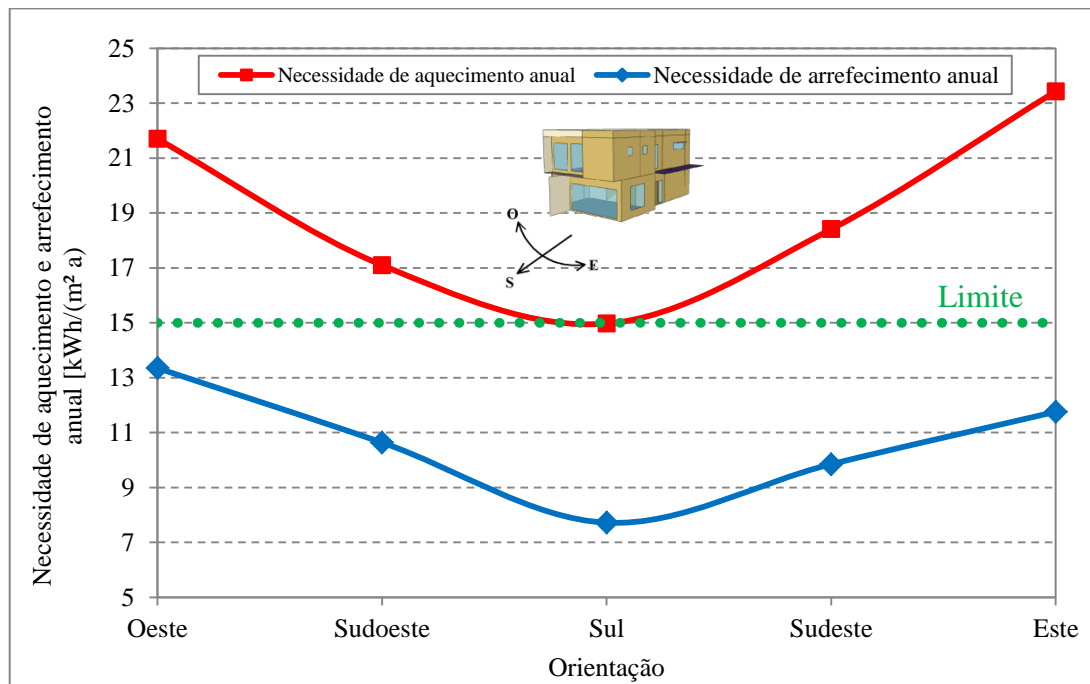


Figura 74: Necessidade de aquecimento e arrefecimento em função da reorientação dos envidraçados a Sul no quadrante O-S-E

Na Figura 75 está representada a influência da reorientação dos envidraçados a Sul sobre a carga de aquecimento e arrefecimento. A orientação da maior área envidraçada a Sul é aquela que conduz a menores cargas de aquecimento e arrefecimento. Para qualquer orientação, a carga de arrefecimento encontra-se sempre acima do limite imposto pela norma. A carga de aquecimento encontra-se abaixo do limite dos  $10 \text{ W}/\text{m}^2$  entre a orientação Sudoeste e até à proximidade de Sudeste.

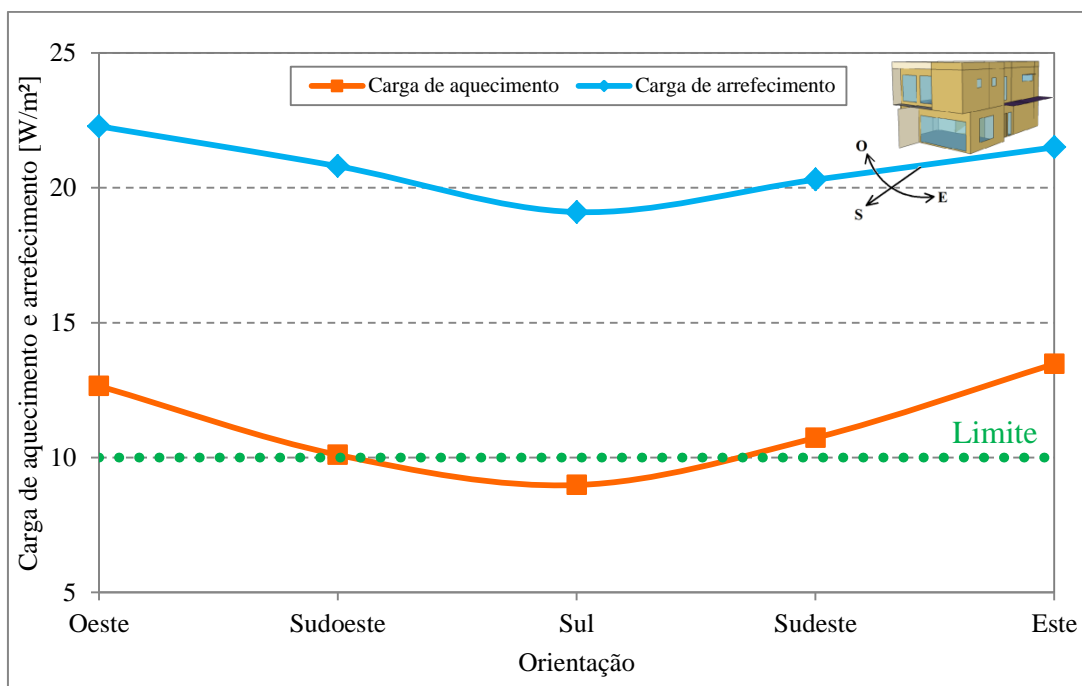


Figura 75: Carga de aquecimento e arrefecimento em função da reorientação dos envidraçados a Sul

### 5.3.8. Influência da área envidraçada a Sul

O estudo paramétrico apresentado nesta subsecção avalia a influência da área envidraçada sobre a carga de aquecimento para duas condições atmosféricas distintas, apresentado na Figura 76. Assumiu-se uma variação da área envidraçada entre 0 a 80 m<sup>2</sup>, calculando-se a carga de aquecimento para duas condições climáticas: i) para um dia de Inverno frio com o céu limpo e ii) para um dia moderadamente frio com o céu nublado, pretendendo-se determinar qual a carga de aquecimento mais elevada obtida pelas duas condições.

Segundo este estudo, uma área envidraçada com 20 m<sup>2</sup> orientada a Sul, é capaz de baixar a carga de aquecimento de forma a cumprir o limite imposto pela norma de 10 W/m<sup>2</sup>. A carga de aquecimento máxima surge associada a dias moderadamente frios com o céu nublado. Segundo esta condição climática, em regra, atinge temperaturas mais elevadas devido ao céu encoberto, porém a falta de incidência da radiação solar diminui os ganhos solares proporcionados pelos envidraçados. Assim conduzem a cargas de aquecimento mais elevadas quando comparadas com a outra condição climática de um dia frio com o céu limpo.

Com este estudo, pretende-se demonstrar que para uma casa com os requisitos *Passivhaus*, uma boa área envidraçada a Sul associada às excelentes características óticas dos vidros, é capaz de reduzir significativamente a carga de aquecimento através da incidência da radiação solar.

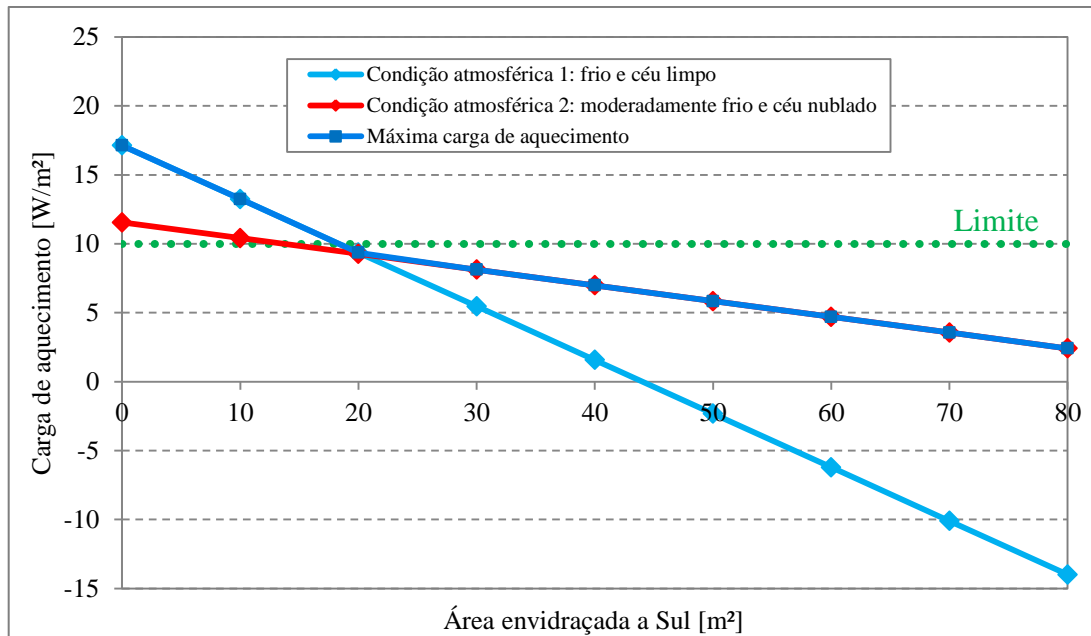


Figura 76: Carga de aquecimento em função da área envidraçada a Sul para duas condições atmosféricas diferentes

### 5.3.9. Influência dos ganhos internos

Nesta subseção é explorada a influência dos ganhos internos na carga de aquecimento da casa *Passivhaus* para Aveiro.

Os ganhos internos são fontes de calor que contribuem para o aquecimento do interior do edifício, como por exemplo, a presença de pessoas ou o calor produzido pelos eletrodomésticos, equipamentos e iluminação. Para quantificar a influência dos ganhos internos fez-se variar este parâmetro entre 0 e 6 W/m<sup>2</sup> (valor máximo indicado na EN 13790), representada na Figura 77. Observa-se uma relação linear entre os ganhos internos e a carga de aquecimento. Quanto maiores são os ganhos internos menor será a potência necessária para o aquecimento.

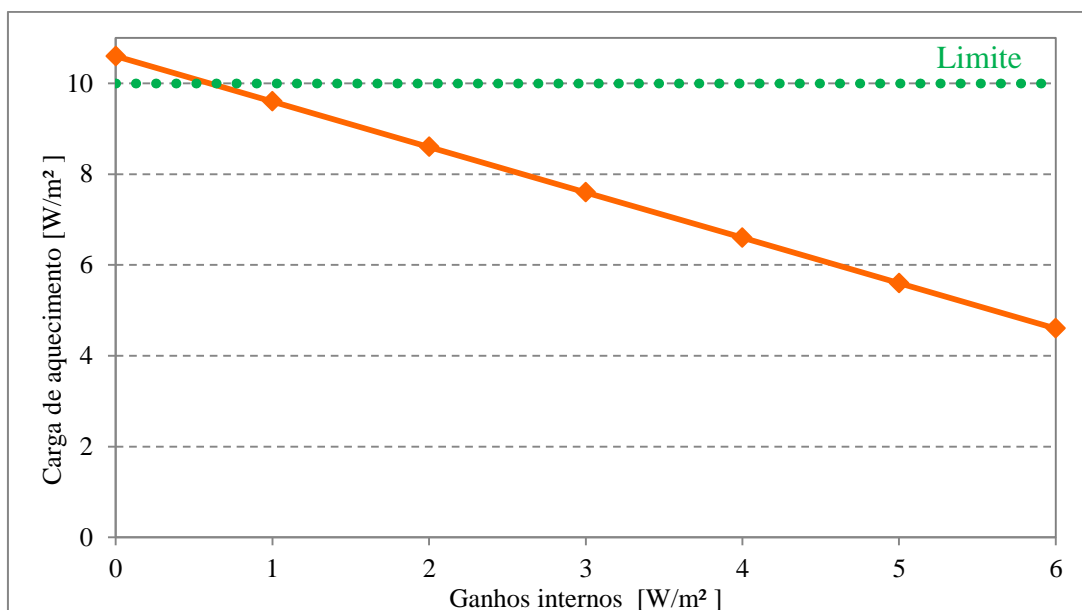


Figura 77: Carga de aquecimento em função dos ganhos internos

### 5.3.10. Influência do “compactness factor”

O estudo paramétrico efetuado nesta subseção consiste em compreender a influência do *compactness factor*, que não é mais do que o fator de forma do edifício, sobre as necessidades energéticas nominais da casa *Passivhaus*. Para este estudo, multiplicou-se toda a área opaca da envolvente térmica pelo mesmo fator de forma, assumindo-se sempre o mesmo volume do edifício. Além deste houve ainda outros fatores que também se mantiveram inalterados, tais como, a área envidraçada, a área útil, a área da laje do desvão sanitário, etc.

O fator de forma da casa *Passivhaus* é de  $1 \text{ m}^{-1}$ , apresentando um valor relativamente maior quando comparado com o do projeto original, uma vez que a medição da área da envolvente térmica do edifício é efetuada pelo exterior. Para esta análise fez-se variar o fator de forma de  $0,2 \text{ m}^{-1}$ , correspondendo a um valor típico de um grande bloco de apartamentos, até  $1 \text{ m}^{-1}$ , que corresponde a uma típica moradia unifamiliar. A norma *Passivhaus* aconselha um valor de  $0,7 \text{ m}^{-1}$  para o fator de forma.

As Figuras 78 e 79 apresentam as necessidades e as cargas energéticas em função do fator de forma, respetivamente. A necessidade de aquecimento anual é tanto maior quanto maior for o fator de forma, já a necessidade de arrefecimento anual, só apresenta um ligeiro aumento em sua função. Para o fator de forma de  $1 \text{ m}^{-1}$ , a necessidade de



aquecimento encontra-se baixo do limite imposto pela norma, sendo que para valores mais baixos do fator de forma, naturalmente as necessidades encontram-se abaixo. A carga de aquecimento e arrefecimento também aumentam em função do aumento do fator de forma. Para qualquer fator de forma a carga de arrefecimento encontra-se sempre acima do limite imposto dos  $10 \text{ W/m}^2$ , por outro lado a carga de aquecimento encontra-se sempre abaixo deste limite.

Conclui-se que a conceção de uma casa *Passivhaus* deve ser planeada desde o início do projeto, visto que, quanto menor for o fator de forma, menor será a sua necessidade energética.

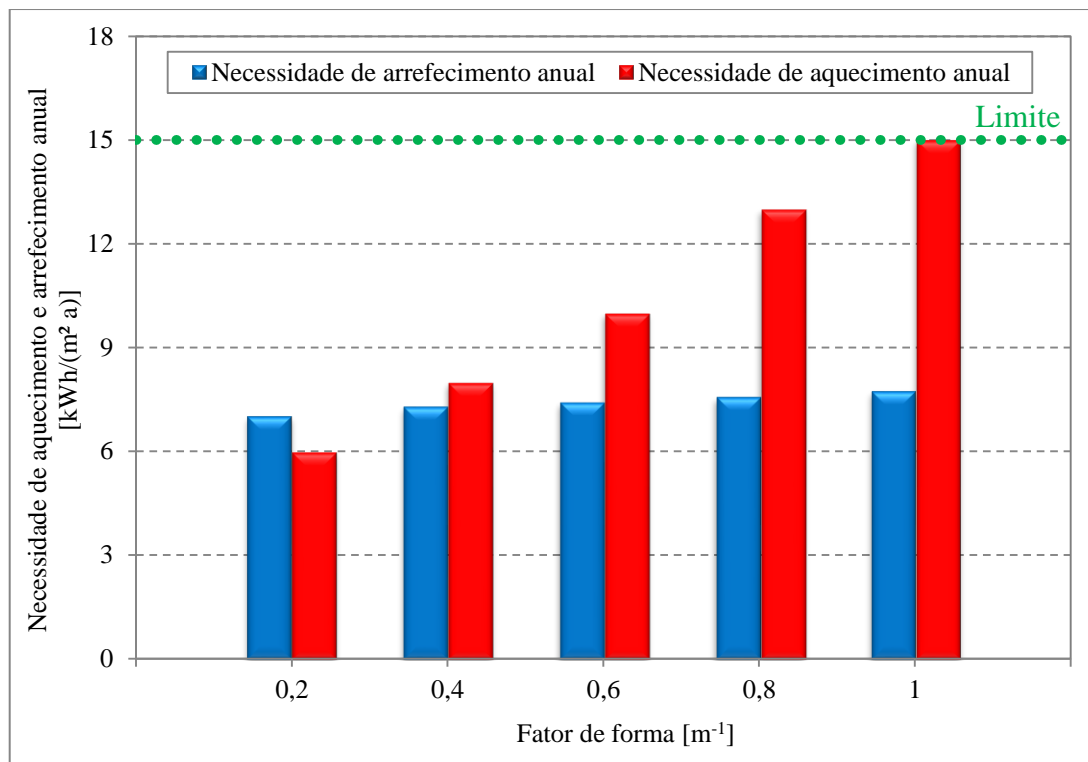


Figura 78: Necessidade de aquecimento e arrefecimento anual em função do fator de forma

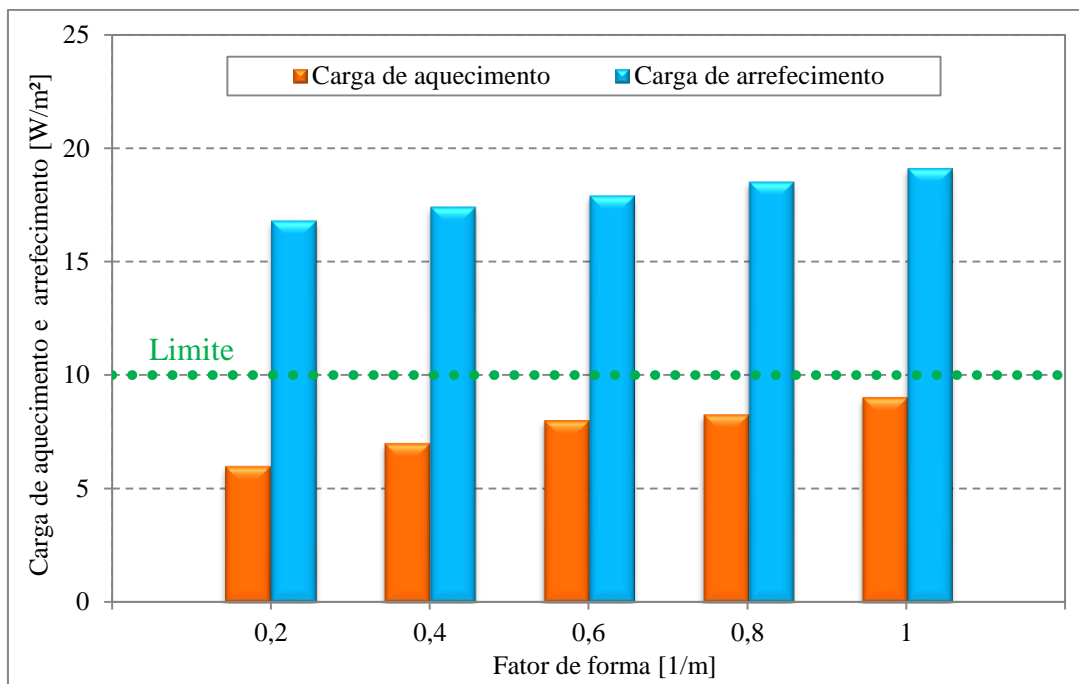


Figura 79: Carga de aquecimento e arrefecimento em função do fator de forma

## 5.4. Considerações finais

A casa *Passivhaus* para Aveiro foi conseguida através da conjugação de diversas soluções construtivas. Essas novas soluções passam pela adoção de envidraçados mais eficientes, aumento da espessura do isolamento dos elementos da envolvente térmica exterior, um maior cuidado na correção das pontes térmicas lineares e introdução do sistema de ventilação. Com base no estudo paramétrico conclui-se que algumas das condições adotadas para este projeto poderiam ser diferentes, no entanto, implicariam a mudança de outras de forma a cumprir os requisitos da norma.

A Figura 80 revela o balanço dos elementos e componentes da envolvente térmica, pela qual existem as perdas e os ganhos energéticos da casa *Passivhaus* para Aveiro. Os vãos envidraçados são os elementos da envolvente que mais proporcionam ganhos e perdas energéticas. Mediante as necessidades do clima em estudo deverá ter-se em consideração a sua área e solução envidraçada. Para um clima muito quente a redução da área envidraçada é uma boa solução para reduzir a necessidade de arrefecimento anual. Por outro lado, se o clima for frio poderá optar-se pelo seu aumento e melhorar os envidraçados para reduzir-se as perdas energéticas. A envolvente opaca do edifício também corresponde a uma grande parcela de perdas térmicas. Sendo um dos pontos cruciais da envolvente térmica, deve-se

diminuir e aumentar a espessura de isolamento conforme a necessidade. Com proporções mais pequenas, mas não menos importantes identificam-se as perdas devido a pontes térmicas e à taxa de ventilação. As pontes térmicas podem ser reduzidas com o aumento da espessura do isolamento garantindo a continuidade ou alternativamente, mudando a solução construtiva. A ventilação pode também ser reduzida até um mínimo de  $0,3 \text{ h}^{-1}$ , desta forma, reduzem-se as perdas e consequentemente a necessidade de aquecimento anual.

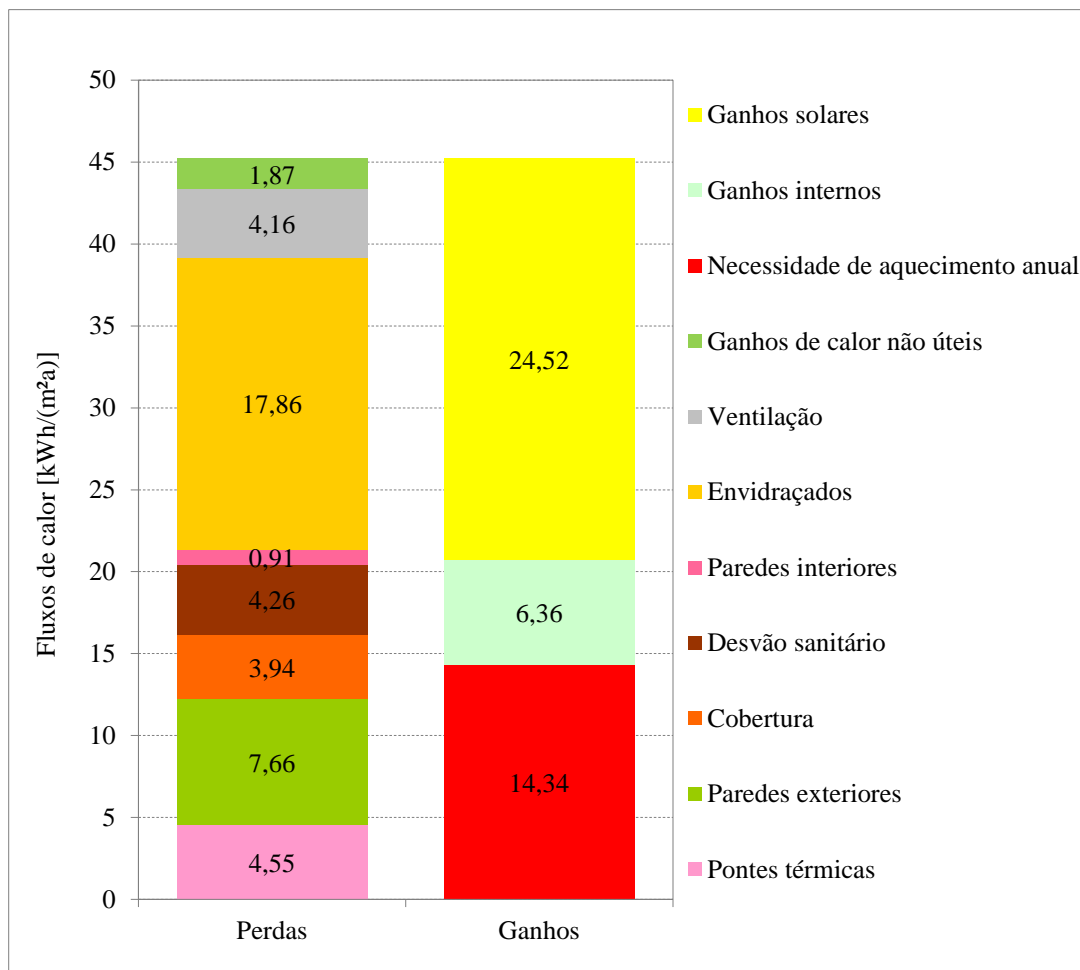


Figura 80: Balanço energético da solução *Passivhaus* para Aveiro

A Figura 80 revela o balanço dos elementos e componentes da envolvente térmica, pela qual existem as perdas e os ganhos energéticos do edifício *Standard* regulamentado pelo RCCTE [3]. Através desta análise é claramente perceptível quais os elementos e componentes do edifício que devem ser alterados de forma a torná-lo regulamentar

segundo a norma *Passivhaus*. A envolvente opaca (paredes, cobertura e laje do desvão sanitário) e os envidraçados são aqueles que mais proporcionam perdas térmicas. Comprova-se assim, que a necessidade do aumento do isolamento em toda a envolvente térmica e a adoção de uma solução envidraçada mais eficiente termicamente são fundamentais para alcançar a certificação *Passivhaus*.

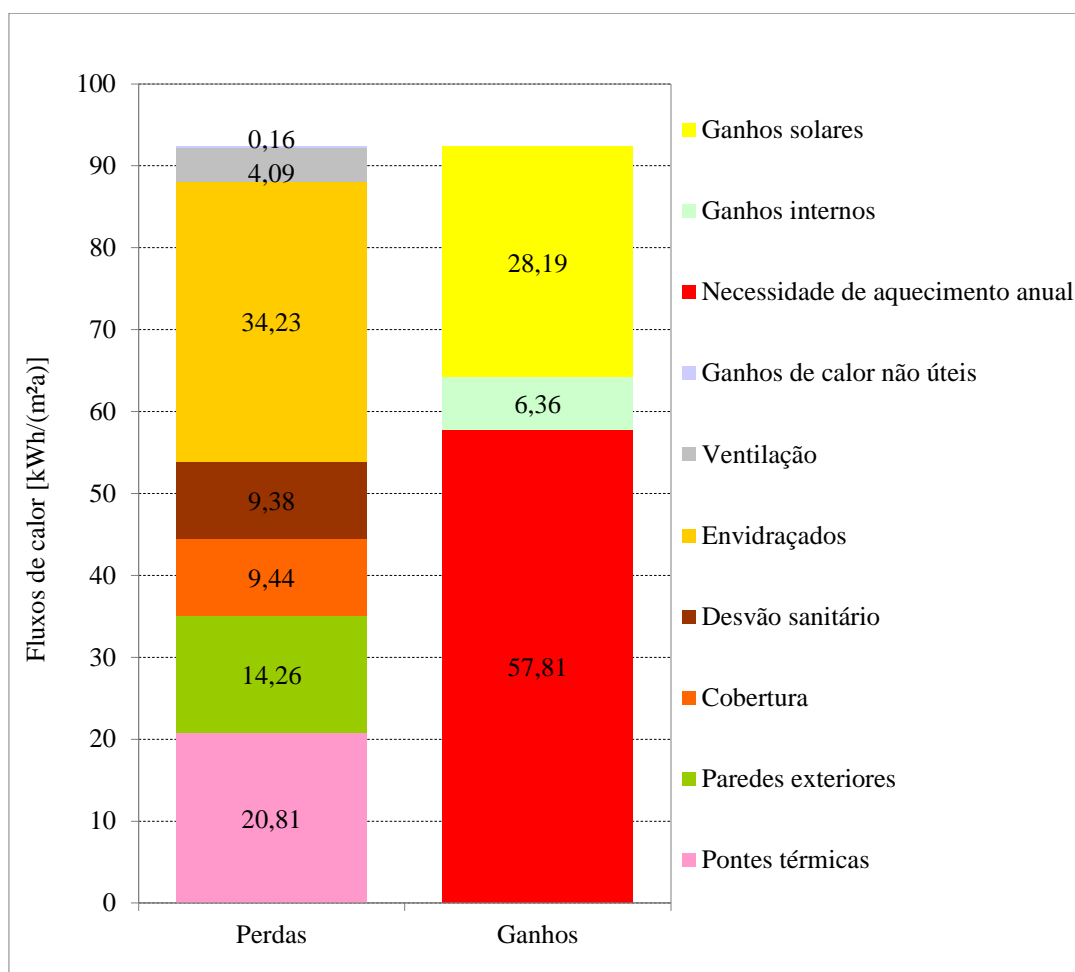


Figura 81: Balanço energético do edifício *Standard*

Por forma a atingir-se melhores resultados, a conceção da casa *Passivhaus* deve ser feita, de preferência, desde o início do projeto. Assim é possível projetar o edifício segundo o “desenho passivo”, atendendo ao fator de forma, à área e orientação da envolvente translúcida, conseguindo-se reduzir uma parte significativa das necessidades energéticas nominais. Segundo os estudos paramétricos efetuados anteriormente, demonstrou-se que para uma casa com os requisitos *Passivhaus*, uma boa área envidraçada

a Sul é capaz de reduzir significativamente a carga de aquecimento através da incidência da radiação solar

Nos Capítulos seguintes irá ser analisada a viabilidade da casa *Passivhaus* para outras localidades de diferentes zonas climáticas. A escolha destas localidades foi estratégica de modo a que se consiga uma boa representação da realidade de Portugal.



## Capítulo 6

Estudo Paramétrico - Limitado ao caso de estudo

---

---

## Capítulo 6. Estudo paramétrico – Limitado ao caso de estudo

- 6.1. Escolha das cidades – Zonas climáticas
- 6.2. Análise da casa *Passivhaus*
  - 6.2.1.Necessidade de aquecimento anual
  - 6.2.2.Carga de aquecimento
  - 6.2.3.Necessidade de arrefecimento anual
  - 6.2.4.Carga de arrefecimento
  - 6.2.5.Necessidade de energia primária
  - 6.2.6.Risco de sobreaquecimentos
- 6.3. Viabilidade da casa Passivhaus em outras localidades



---

## CAPÍTULO 6. ESTUDO PARAMÉTRICO - LIMITADO AO CASO DE ESTUDO

Este estudo tem como motivação tornar o caso de estudo do ponto de vista concecional numa casa *Passivhaus* para Aveiro e analisar o seu comportamento supondo que esta mesma se encontra situada em outras cidades de Portugal, isto é, outras zonas climáticas.

### 6.1. Escolha das cidades – Zonas climáticas

As localidades escolhidas para este estudo, surgiram das nove combinações possíveis e restantes zonas climáticas apresentadas no RCCTE [3]. Segundo este regulamento o país é dividido em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) e outras três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ) (ver Figura 82) [3]. Para cada combinação foram seleccionadas as cidades que melhor representavam cada uma delas, tendo em conta a sua localização e o número de graus-dias de aquecimento (ver Tabela 15).

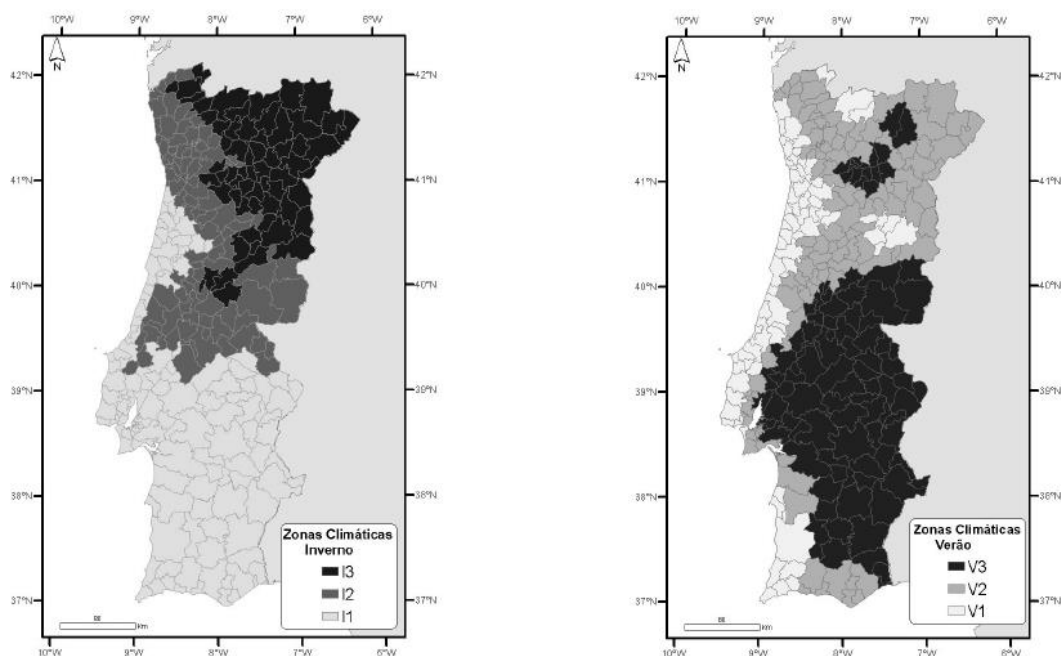


Figura 82: Zonas Climáticas Inverno e Verão (Fonte: RCCTE)

Tabela 15: Seleção das cidades em estudo

| Combinação zonas climáticas   | Número de Graus-Dias (°C.dias) | Cidade     |
|-------------------------------|--------------------------------|------------|
| I <sub>1</sub> V <sub>1</sub> | 1390                           | Aveiro     |
|                               | 940                            | Portimão   |
| I <sub>1</sub> V <sub>2</sub> | 1190                           | Lisboa     |
|                               | 1460                           | Coimbra    |
| I <sub>1</sub> V <sub>3</sub> | 1390                           | Évora      |
|                               |                                |            |
| I <sub>2</sub> V <sub>1</sub> | 1610                           | Porto      |
| I <sub>2</sub> V <sub>2</sub> | 1940                           | Viseu      |
| I <sub>2</sub> V <sub>3</sub> | 1740                           | Portalegre |
|                               |                                |            |
| I <sub>3</sub> V <sub>1</sub> | 2500                           | Guarda     |
| I <sub>3</sub> V <sub>2</sub> | 2850                           | Bragança   |
| I <sub>3</sub> V <sub>3</sub> | 2360                           | Lamego     |

A localização das cidades escolhidas para efetuar este estudo foi fundamental, uma vez que estas deveriam ser distribuídas por Portugal Continental e representativas da climatologia portuguesa (litoral, planície alentejana, altitude, etc.). Tendo em conta que um dos objetivos deste estudo será a obtenção de resultados que traduzam bem a realidade do nosso país (ver Figura 83).

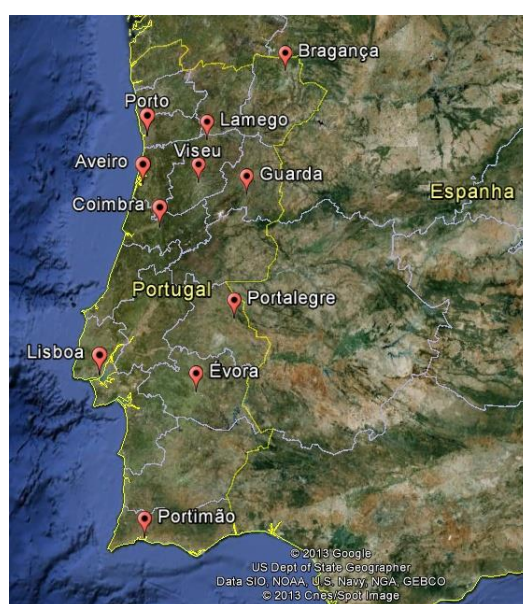


Figura 83: Localização das cidades (Fonte: Google Earth)

## 6.2. Análise da casa *Passivhaus*

O projeto modelo tornou-se numa casa *Passivhaus* após terem sido adotadas novas estratégias construtivas. Depois da seleção das cidades na qual se vai desenvolver este estudo, simulou-se este edifício, implantado com a mesma orientação em cada um destes locais de modo a observar os resultados obtidos em diferentes localidades.

No início fez-se uma análise comparativa entre as temperaturas máximas e mínimas atingidas durante o ano de modo a conseguir-se ter um panorama geral dos resultados que se possam obter (ver Figura 84). As localidades que atingem temperaturas mais elevadas são Évora e Portalegre, nas quais, na estação do Verão poderão existir problemas de sobreaquecimento no interior dos edifícios. Por outro lado, a temperatura mais baixa no Inverno é na cidade de Bragança. Como tal, deve-se ter em atenção às necessidades de aquecimento. Para o mesmo modelo de edifício por forma a manter o mesmo nível de conforto no seu interior teria que se consumir muito mais energia do que o limite imposto pela norma *Passivhaus*. A cidade de Portimão é aquela que atinge a temperatura mais elevada no Inverno e possui o menor diferencial entre a temperatura máxima e mínima, logo não existe tanta oscilação das amplitudes nas temperaturas durante o ano.

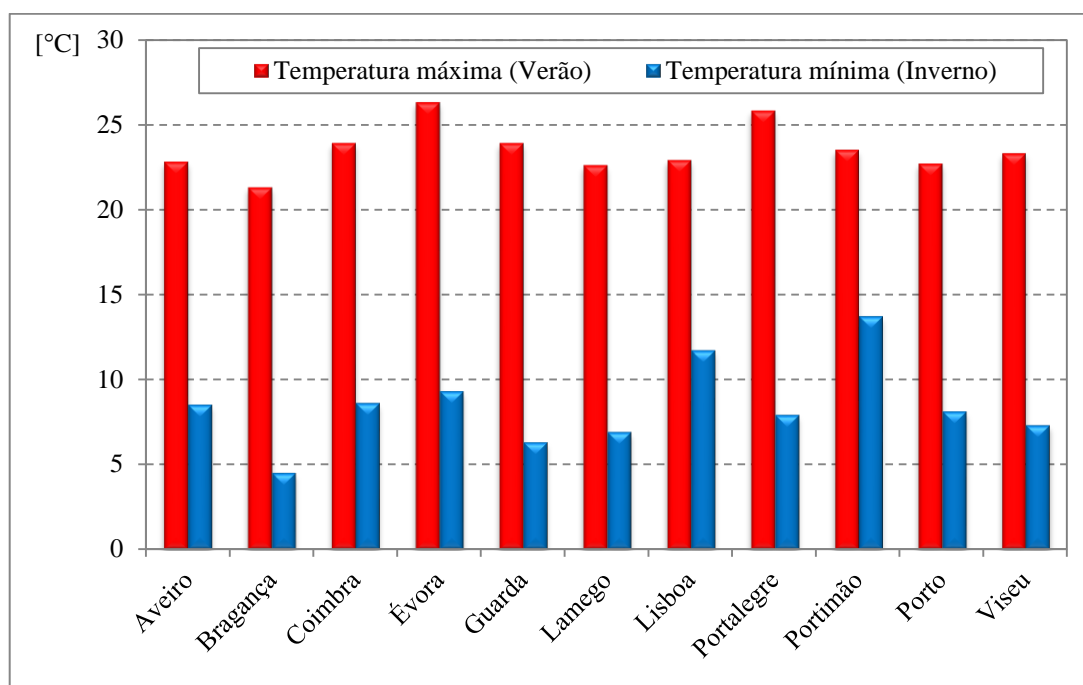


Figura 84: Análise das temperaturas mínimas e máximas atingidas nas diferentes localidades

Para além do confronto feito anteriormente, foi efetuada a análise do número de graus de aquecimento hora entre as várias localidades (ver Figura 85). Estes valores foram obtidos através dos dados climáticos utilizados para o cálculo do balanço energético através do PHPP.

A cidade que apresenta o menor número de graus de aquecimento hora é Bragança, traduzindo assim, que esta é a localidade que apresenta um clima durante a estação de aquecimento mais severo. Concluindo que esta é a cidade que apresenta uma maior necessidade energética para aquecimento. No reverso, apresenta-se Portimão com uma menor necessidade de aquecimento.

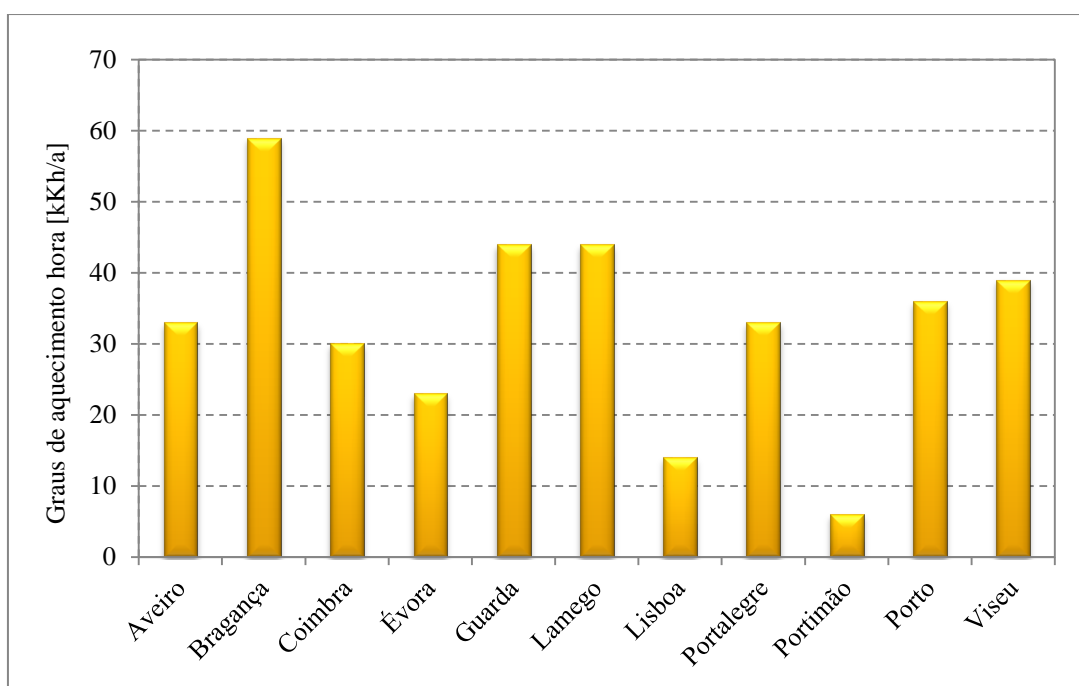


Figura 85: Análise dos graus de aquecimento hora nas diferentes localidades

De seguida serão apresentados os resultados obtidos pelo PHPP que traduzem as necessidades energéticas nominais do edifício em estudo nas diferentes localidades seleccionadas anteriormente.

### 6.2.1. Necessidade de aquecimento anual

Na Figura 86 traduz-se a necessidade de aquecimento anual do projeto modelo. Verifica-se que o edifício projetado para Aveiro não cumpre os requisitos impostos pela norma *Passivhaus* em todas as localidades.

A cidade de Bragança é a que possui maiores necessidades de aquecimento, como já referido anteriormente, pois tem o maior número de graus de aquecimento hora, apresentando um Inverno muito severo. Na Guarda, Lamego, Viseu e Porto também excedem o limite de 15 kWh/(m<sup>2</sup> a). Em todas estas localidades terá que se considerar novas estratégias de modo a que se cumpram os requisitos, como por exemplo, aumentar as espessuras de isolamento ou melhorar a eficiência do sistema de ventilação, como será apresentado no Capítulo seguinte para alguns casos.

Em oposição Portimão e Lisboa têm as menores necessidades nominais de aquecimento, não sendo necessário adotar medidas tão rígidas, podendo ser diminuída a espessura de isolamento. Existe uma grande diferença entre os valores obtidos e o limite, podendo reduzir algumas das medidas tomadas inicialmente por forma a reduzir os custos associados à construção.

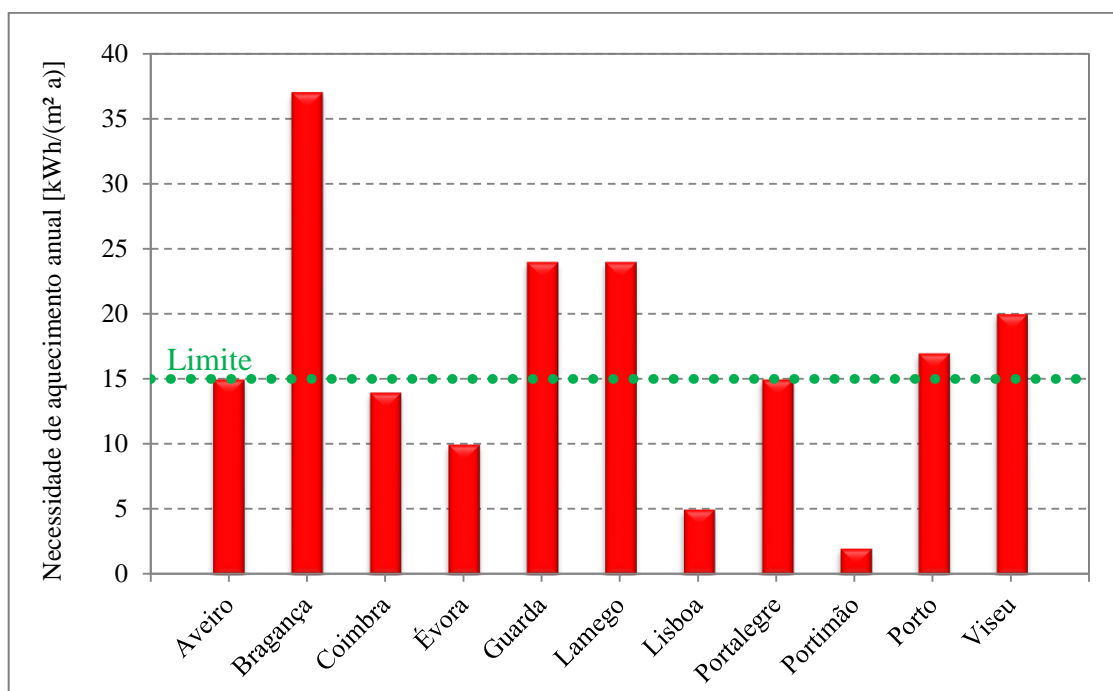


Figura 86: Necessidades de aquecimento anuais para diferentes localidades

### 6.2.2. Carga de aquecimento

A Figura 87 evidencia as cargas de aquecimento necessárias para o edifício durante a estação de aquecimento.

A carga de aquecimento é a potência máxima por metro quadrado que o sistema de aquecimento deve possuir para garantir o conforto térmico no interior do edifício, a cerca de 20°C. Atendendo ao limite imposto pela norma de 10 W/m<sup>2</sup>, observa-se que Bragança é a cidade que mais ultrapassa essa imposição. Sendo necessário um sistema de aquecimento com mais potência do que o inicialmente estabelecido para a casa *Passivhaus* para Aveiro, implicando assim um maior consumo energético.

A cidade do Porto não cumpre o limite imposto para a necessidade de aquecimento, mas na análise deste gráfico verifica-se que a carga de aquecimento encontra-se no limite imposto pela norma. Em suma, as necessidades de aquecimento anuais excedem o limite, mas a potência necessária para o equipamento instalado será de 10 W/m<sup>2</sup>. Segundo a norma, para a estação de aquecimento será necessário cumprir pelo menos um dos dois requisitos, assim sendo, o Porto cumpre esta imposição.

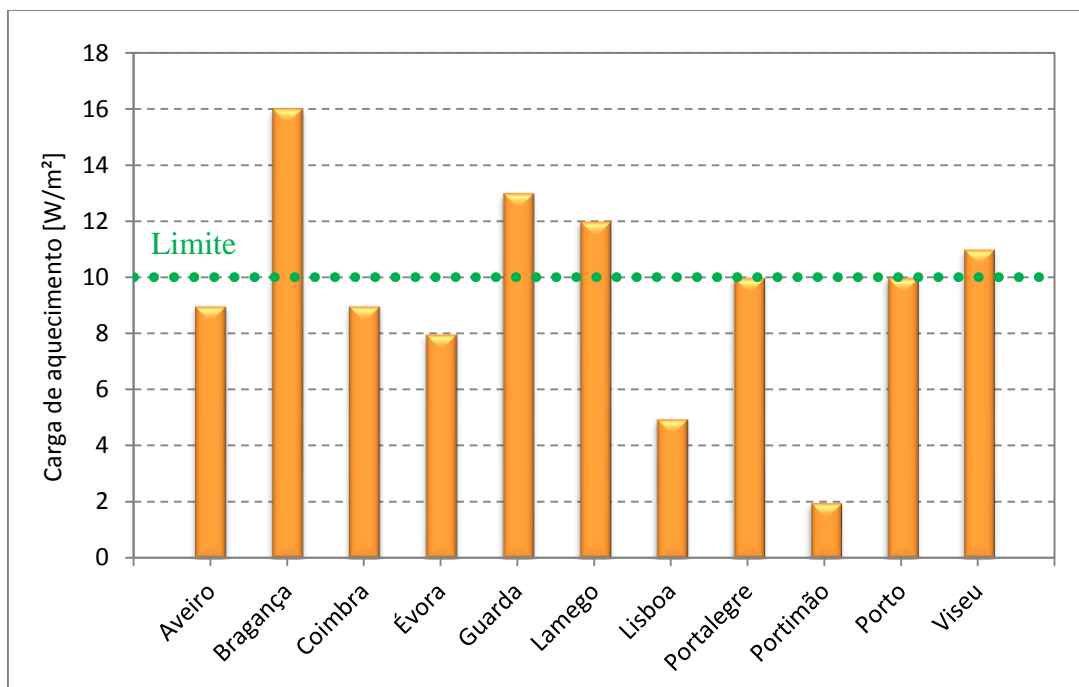


Figura 87: Carga de aquecimento para diferentes localidades

### 6.2.3. Necessidade de arrefecimento

Na Figura 88 é representada a necessidade energética nominal para o arrefecimento do edifício dependendo do seu local de implantação.

Observa-se que para qualquer uma das cidades na qual fosse implantado o edifício será cumprido o limite imposto pela norma *Passivhaus* nos 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) para a necessidade de arrefecimento.

A cidade de Évora é aquela que apresenta maior necessidade de arrefecimento, sendo que, como já mencionado anteriormente, esta é a cidade que atinge as temperaturas mais elevada durante a estação de Verão (ver Figura 84).

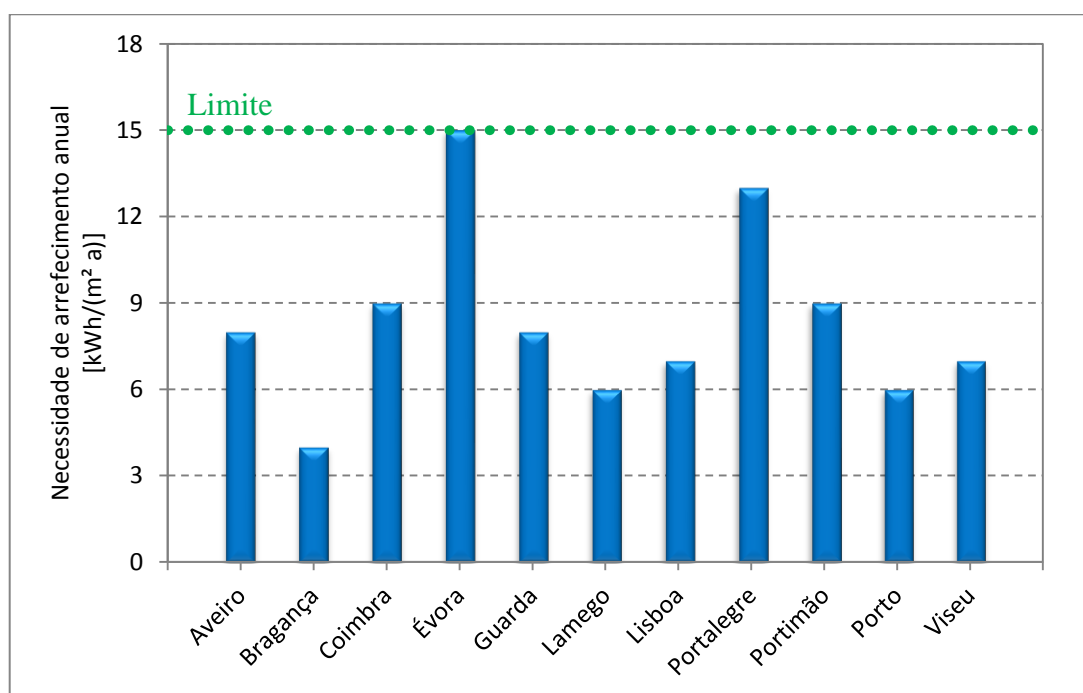


Figura 88: Necessidades de arrefecimento anual para diferentes localidades

### 6.2.4. Carga de arrefecimento

Na Figura 89 apresenta-se a carga de arrefecimento do edifício para as diferentes localidades. A carga de arrefecimento traduz-se na potência máxima necessária por cada metro quadrado de área útil para manter o interior do edifício climatizado, por forma a assegurar uma temperatura sempre abaixo de 25°C para toda a estação de arrefecimento.

Em todas as localidades onde se desenvolve o estudo, nenhuma apresenta valores abaixo ou igual ao limite imposto pela norma. Para cumprir com os requisitos será necessário que as necessidades de aquecimento ou as cargas de arrefecimento se encontrem dentro dos limites. Segundo a Figura 88, todas se encontravam dentro do imposto pela norma, logo, estes valores tão elevados das cargas de arrefecimento apresentados não levantam qualquer problema para a certificação da casa *Passivhaus*.

Mais uma vez a cidade de Évora apresenta valores mais elevados, visto apresentar um clima mais severo na estação de arrefecimento.

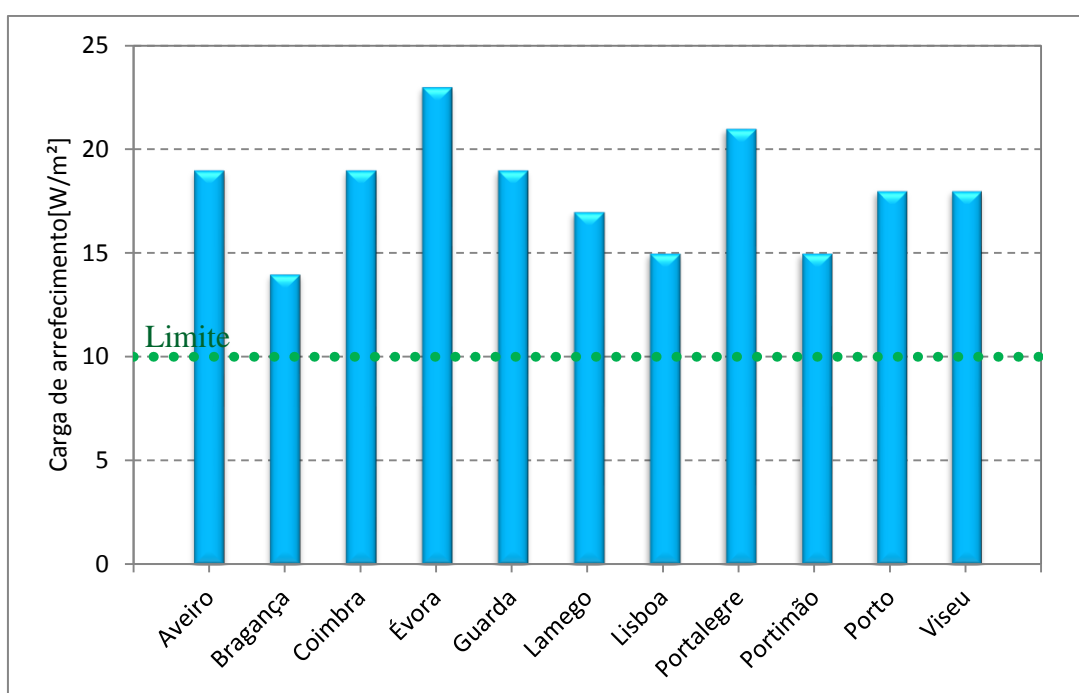


Figura 89: Carga de arrefecimento para diferentes localidades

### 6.2.5. Necessidade de energia primária

A Figura 90 mostra as necessidades de energia primária do edifício em estudo disposto pelas diferentes localidades. Estas necessidades energéticas nominais contabilizam toda a energia necessária para o funcionamento do edifício: aquecimento, arrefecimento, aquecimento de água quente sanitária, eletrodomésticos, iluminação, sistema de ventilação, entre outros.

O sistema de ventilação na estação de arrefecimento só funciona para efetuar a renovação do ar (em regime de *bypass*), ou seja, não proporciona o arrefecimento deste



antes de distribuir-se no interior dos compartimentos. Como tal, para este estudo, a necessidade de arrefecimento não é contabilizada visto que o sistema de arrefecimento do ar não estará ativo durante o Verão. Por outro lado, no Inverno é necessário aquecer-se o ar insuflado, entrando para este cálculo a necessidade de aquecimento. Observa-se então que Bragança é a cidade que apresenta valores mais elevados, como anteriormente foi demonstrado, sendo a cidade com o maior valor para a necessidade nominal de aquecimento anual.

Contudo o caso de estudo, situado em cada uma das diferentes localidades cumpre o limite imposto pela norma dos 120 kWh/(m<sup>2</sup> a).

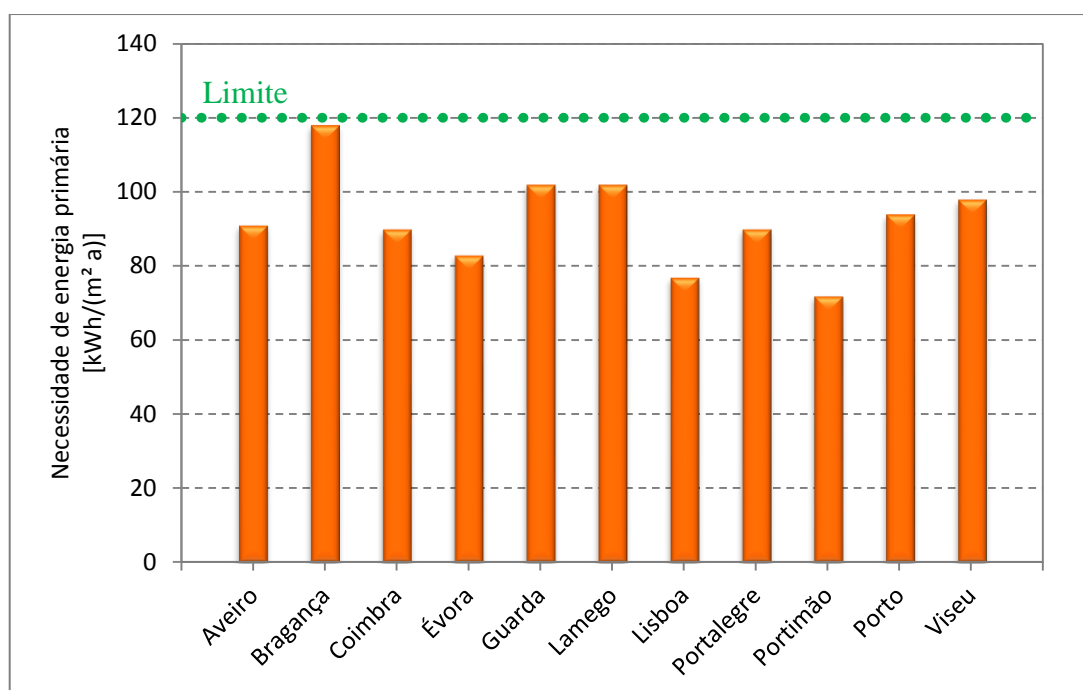


Figura 90: Necessidade de energia primária para diferentes localidades

#### 6.2.6. Risco de sobreaquecimento

Na Figura 91 apresentando-se o risco de sobreaquecimento no interior do edifício em estudo. Considera-se sobreaquecimento sempre que a temperatura no interior excede os 25°C.

A localidade de Portalegre, Évora e Portimão são as três cidades que excedem o limite de sobreaquecimento de 10%. Para estas cidades teriam que ser adotadas medidas de

modo a reduzir o risco, passando pelo arrefecimento do ar ou mesmo alterar algumas das soluções construtivas nomeadamente ao nível dos vãos.

Nas restantes localidades exibem uma percentagem muito baixa de sobreaquecimento não existindo qualquer problema para o cumprimento da norma.

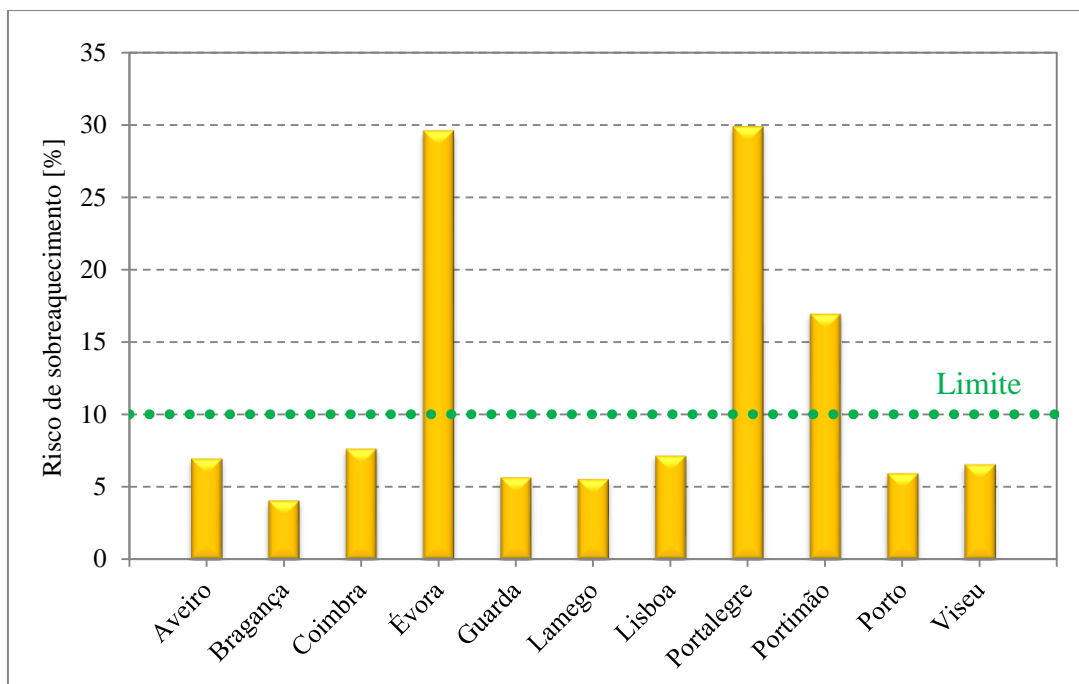


Figura 91: Risco de sobreaquecimento para diferentes localidades

### 6.3. Viabilidade da casa *Passivhaus* em outras localidades

Após ter sido efetuada a análise da viabilidade da implantação do projeto em estudo, conclui-se que é viável para quatro cidades, Aveiro, Coimbra, Lisboa e Porto.

Das onze localidades estudadas sete não cumprem os requisitos impostos pela norma. Estas localidades possuem climas mais severos, no Inverno ou no Verão.

As cidades que apresentam incumprimento relativo às necessidades de aquecimento são: Bragança, Guarda, Lamego e Viseu. Para estas localidades seria necessário aumentar as espessuras de isolamento e em algumas localidades adotar soluções envidraçadas mais eficientes.

O incumprimento da norma nas restantes localidades deve-se à elevada percentagem da taxa sobreaquecimento nas cidades de Évora, Portalegre e Portimão. Estas cidades apresentam estações de arrefecimento com temperaturas elevadas excedendo assim

os 25°C no interior em mais de 10% da estação de arrefecimento. Para estas cidades, de modo a que se cumpra a regulamentação *Passivhaus* poderá ser necessário reduzir as espessuras de isolamento e implementar-se um sistema ativo de arrefecimento no Verão.

Após a avaliação da viabilidade da casa *Passivhaus* de Aveiro para outras localidades, no Capítulo 7 serão apresentadas duas propostas para zonas climáticas distintas, uma para o clima frio e outra para clima quente.



## Capítulo 7

Casa *Passivhaus* para diferentes zonas climáticas

---

---

## **Capítulo 7. Casa *Passivhaus* para diferentes zonas climáticas**

7.1. Casa *Passivhaus* para Bragança

7.2. Casa *Passivhaus* para Évora

7.2.1.Solução A

7.2.2.Solução B

7.2.2.1. Síntese

7.3. Análise económica

7.3.1.Síntese

---

---

## **CAPÍTULO 7. CASA *PASSIVHAUS* PARA DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS PORTUGUESAS**

No presente Capítulo vão ser expostas duas propostas para atingir uma casa *Passivhaus*, uma para um clima frio e outra para um clima quente no espectro da climatologia do país.

No Capítulo 6 foi analisada a viabilidade da casa *Passivhaus* de Aveiro para outras zonas climáticas, concluindo-se que para zonas de climas mais extremos e severos, no Verão ou no Inverno, não é possível cumprir as exigências da norma. Dessa análise foram escolhidas duas localidades, Bragança e Évora para representarem uma zona climática mais fria e outra mais quente, respetivamente, para o exercício de as tornar também regulamentares à luz da norma *Passivhaus*.

Como as propostas efetuadas no presente Capítulo terão algumas diferenças relativamente às adotadas para Aveiro, será efetuado uma breve análise económica de forma a calcular o período de retorno do investimento para estes dois casos. Sublinha-se que a análise económica da casa *Passivhaus* para Aveiro é abordada mais detalhadamente numa outra dissertação do presente ano letivo, do aluno Rui Grangeia.

De seguida serão apresentadas as soluções e as necessidades energéticas nominais para a casa *Passivhaus* regulamentar para Bragança e para Évora e ainda uma breve análise económica para estas propostas.

### **7.1. Casa *Passivhaus* para Bragança**

A cidade de Bragança encontra-se numa zona climática  $I_3V_2$  segundo o RCCTE [3], apresentando um clima severo no Inverno, requerendo necessidades de aquecimento nominais muito elevadas. As exigências construtivas necessárias para alcançar os requisitos impostos pela norma *Passivhaus* para esta localidade irão ser naturalmente mais elevadas do que para Aveiro.

A Tabela 16 apresenta as soluções construtivas propostas para o projeto modelo de forma a proporcionar o cumprimento da norma para esta zona climática. As alterações efetuadas nas soluções construtivas em relação à casa de Aveiro, passaram pelo aumento

da espessura de isolamento na envolvente opaca, pela utilização de janelas mais eficientes (vidro triplo) e na aplicação de dispositivos de sombreamento mais eficientes para o Verão.

Tabela 16: Referências da casa *Passivhaus* para Bragança

|                                                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Parede: U; espessura de isolamento                           | 0,194 W/(m <sup>2</sup> K); 15 cm |
| Cobertura: U; espessura de isolamento                        | 0,168 W/(m <sup>2</sup> K); 20 cm |
| Laje suspensa: U; espessura de isolamento                    | 0,281 W/(m <sup>2</sup> K); 10 cm |
| U <sub>caixilharia</sub>                                     | 0,85 W/(m <sup>2</sup> K)         |
| U <sub>vidro</sub> ; g <sub>vidro</sub>                      | 0,58 W/(m <sup>2</sup> K); 0,50   |
| Sombreamento no Verão                                        | Estores cinza - exterior          |
| Eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor | 77%                               |
| Taxa de renovação horária do ar                              | 0,41h <sup>-1</sup>               |
| Ventilação noturna através das janelas                       | Sim                               |
| Sistema de arrefecimento ativo                               | Não                               |
| Climatização via insuflação do ar                            | Sim                               |
| Desumidificação do ar insuflado                              | Não                               |

A Tabela 17 apresenta de forma sistematizada a influência de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Bragança na redução da necessidade de aquecimento anual. O aumento do isolamento na envolvente opaca do edifício e a melhoria da solução envidraçada reduziu a necessidade de aquecimento anual em cerca de 62%.

Tabela 17: Redução da necessidade de aquecimento anual em função de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Bragança

| Propostas casa <i>Passivhaus</i> em Bragança                                | Redução da necessidade de aquecimento anual |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Isolamento nas paredes de 10 cm → 15 cm                                     | - 4 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Isolamento na cobertura de 15 cm → 20 cm                                    | - 2 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Isolamento na laje suspensa de 6 cm → 10 cm                                 | - 3 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Solução envidraçada de U <sub>vidro duplo</sub> → U <sub>vidro triplo</sub> | - 14 kWh/(m <sup>2</sup> a)                 |
| 37 kWh/(m <sup>2</sup> a) → 14 kWh/(m <sup>2</sup> a)                       |                                             |

Após a proposta da casa *Passivhaus* para Bragança, na Tabela 18 é apresentado o resumo dos requisitos atingidos com a adoção das novas soluções. Obtém-se uma casa de baixo consumo energético, com 14 kWh/(m<sup>2</sup> a) de necessidade de aquecimento e com alto nível de conforto num clima onde as temperaturas no Inverno atingem valores abaixo dos



-5°C. O aumento da espessura de isolamento e a utilização de uma solução envidraçada com vidro triplo diminui significativamente as perdas pela envolvente, baixando a necessidade de aquecimento. Por outro lado, o aumento de hermeticidade não afetou as necessidades energéticas para a estação de arrefecimento. Foi efetuada a substituição de estores brancos por estores de maior eficiência, porque a amplitude da temperatura diária causada pelo dia de maior calor excedia os 3 K.

Tabela 18: Requisitos da casa *Passivhaus* para Bragança

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Necessidade de aquecimento anual   | 14 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Carga de aquecimento               | 10 W/m <sup>2</sup>       |
| Necessidade de arrefecimento anual | 4 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| Carga de arrefecimento             | 13 W/m <sup>2</sup>       |
| Necessidade de energia primária    | 92 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Taxa de sobreaquecimento           | 4,1%                      |

Com esta proposta conclui-se, que é viável a implantação da casa *Passivhaus* para zonas climáticas com condições mais extremas em Portugal. O investimento financeiro efetuado para implementação desta proposta é mais elevado, quando comparado com Aveiro, mas por outro lado, as exigências na estação de aquecimento são maiores, rentabilizando assim o investimento financeiro mais rapidamente.

## 7.2. Casa *Passivhaus* para Évora

A cidade de Évora encontra-se numa zona climática I<sub>1</sub>V<sub>3</sub> segundo o RCCTE [3], apresentando um clima severo no Verão, no qual apresenta necessidades de arrefecimento nominais elevadas. A taxa de sobreaquecimento elevadíssima que apresenta esta zona climática é um aspeto crucial, que irá determinar as alterações a efetuar nas soluções construtivas necessárias para a obtenção da casa segundo as normas *Passivhaus*.

A arquitetura do projeto apresenta uma grande área envidraçada a Sul, sendo um aspeto negativo quando se pretende conseguir a verificação para uma zona climática mais severa no Verão, como é o caso de Évora. Para não alterar a arquitetura do caso de estudo, o limite da taxa de sobreaquecimento de 10% é de difícil cumprimento, por isso, aumentou-se a temperatura limite de conforto para os 26°C. Este aumento da temperatura

em 1°C será relevante ou não, dependendo da sensibilidade ao calor dos utentes do edifício.

De seguida são apresentadas duas soluções (A e B) que permitem o cumprimento da norma *Passivhaus*, que se distinguem pelo uso de um sistema ativo de arrefecimento associado ao sistema de ventilação mecânico.

### 7.2.1. Solução A

Na Tabela 19 estão representadas as soluções construtivas do projeto modelo (solução A) de modo a proporcionar o cumprimento da norma para esta zona climática.

As mudanças efetuadas nas soluções construtivas adotadas em relação à casa de Aveiro são: i) diminuição da espessura de isolamento nas paredes para 8 cm, na cobertura para 10 cm, e na laje do desvão sanitário para 4 cm; ii) aplicação de estores mais eficientes para sombreamento no Verão; iii) ativação do sistema de arrefecimento. A ativação do sistema de arrefecimento é imprescindível para esta solução, uma vez que permite um maior controlo da temperatura no interior do edifício, diminuindo drasticamente a taxa de sobreaquecimento, nos dias mais quentes.

Tabela 19: Referências da casa *Passivhaus* para Évora – Solução A

|                                                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Parede: U; espessura de isolamento                           | 0,307 W/(m <sup>2</sup> K); 8 cm  |
| Cobertura: U; espessura de isolamento                        | 0,310 W/(m <sup>2</sup> K); 10 cm |
| Laje suspensa: U; espessura de isolamento                    | 0,516 W/(m <sup>2</sup> K); 4 cm  |
| U <sub>caixilharia</sub>                                     | 1,56 W/(m <sup>2</sup> K)         |
| U <sub>vidro</sub> ; g <sub>vidro</sub>                      | 1,30 W/(m <sup>2</sup> K); 0,66   |
| Sombreamento no Verão                                        | Estores cinza - exterior          |
| Eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor | 77%                               |
| Taxa de renovação horária do ar                              | 0,41 h <sup>-1</sup>              |
| Ventilação noturna através das janelas                       | Sim                               |
| Taxa de renovação noturna                                    | 0,56 h <sup>-1</sup>              |
| Ventilação noturna através das janelas                       | Sim                               |
| Sistema de arrefecimento ativo                               | Sim                               |
| Climatização via insuflação do ar                            | Sim                               |
| Desumidificação do ar insuflado                              | Não                               |

A Tabela 20 e 21 apresentam a influência de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Évora na redução do risco de sobreaquecimento e na necessidade de arrefecimento, respetivamente. Com as propostas efetuadas para esta solução da casa *Passivhaus* em Évora consegue-se reduzir o risco de sobreaquecimento de 64% e a necessidade de arrefecimento de 39%.

Tabela 20: Redução do risco de sobreaquecimento em função de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Évora - solução A

| Propostas casa <i>Passivhaus</i> em Évora - solução A | Redução do risco de sobreaquecimento |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Temperatura de conforto 25 °C → 26 °C                 | - 17,7%                              |
| Isolamento nas paredes de 10 cm → 8 cm                | + 0,1%                               |
| Isolamento na cobertura de 15 cm → 10 cm              | + 0,2%                               |
| Isolamento na laje suspensa de 6 cm → 4 cm            | - 0,3%                               |
| Estores de cor branca → estore mais eficiente         | -1,3%                                |
| Ativação do sistema de arrefecimento                  | 0%                                   |
| Risco de sobreaquecimento: 29,6% → 10,6%              |                                      |

Tabela 21: Redução da necessidade de arrefecimento em função de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Évora - solução A

| Propostas casa <i>Passivhaus</i> em Évora - solução A                                           | Redução da necessidade de arrefecimento anual |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Temperatura de conforto 25 °C → 26 °C                                                           | - 5 kWh/(m <sup>2</sup> a)                    |
| Isolamento nas paredes de 10 cm → 8 cm                                                          | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Isolamento na cobertura de 15 cm → 10 cm                                                        | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Isolamento na laje suspensa de 6 cm → 4 cm                                                      | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Estores de cor branca → estore mais eficiente                                                   | - 1,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Ativação do sistema de arrefecimento                                                            | + 0,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Redução da necessidade de arrefecimento: 15 kWh/(m <sup>2</sup> a) → 9,1 kWh/(m <sup>2</sup> a) |                                               |

A Tabela 22 apresenta as necessidades energéticas nominais desta solução para a casa *Passivhaus* em Évora.

Para a cidade de Évora é possível diminuir a espessura de isolamento da envolvente opaca, devido à baixa necessidade de aquecimento, já apresentada no Capítulo 6. Conseguindo-se assim diminuir as necessidades energéticas na estação de arrefecimento reduzindo de 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) para 9,1 kWh/(m<sup>2</sup> a). A carga de arrefecimento também diminuiu para os 19 W/m<sup>2</sup>.

A taxa de sobreaquecimento encontra-se um pouco acima do limite recomendado pela norma, mesmo após o aumento da temperatura de conforto e com a ativação do sistema de arrefecimento. O aumento da renovação do ar durante o dia naturalmente ou mecanicamente não diminui a taxa de sobreaquecimento. Pelo contrário, as altas temperaturas no exterior da edificação fazem aumentar a temperatura interior em vez de a descer. Mesmo que haja uma taxa de sobreaquecimento um pouco mais elevada que o limite dos 10%, não impede o cumprimento da norma *Passivhaus*.

Tabela 22: Requisitos da casa *Passivhaus* para Évora – Solução A

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Necessidade de aquecimento anual   | 13 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Carga de aquecimento               | 10 W/m <sup>2</sup>       |
| Necessidade de arrefecimento anual | 9 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| Carga de arrefecimento             | 19 W/m <sup>2</sup>       |
| Necessidade de energia primária    | 95 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Taxa de sobreaquecimento           | 10,6%                     |

A solução apresentada nesta subsecção é viável para zonas climáticas mais quentes, como o é o caso de Évora. Apesar de haver maior permissividade de alguns requisitos, praticamente não influenciam o nível de conforto pretendido no interior do edifício alcançando assim uma casa de baixo consumo energético. Refere-se ainda que nesta solução não se alterou a solução envidraçada, com caixilharia em PVC e vidro duplo (solução 6), porque esta é suficientemente eficaz para a zona climática em estudo.

### 7.2.2. Solução B

Na Tabela 23 estão representadas as soluções construtivas do projeto modelo (solução B) de modo a proporcionar o cumprimento da norma para esta zona climática.

A diferença desta solução relativamente à anterior é o abandono do sistema ativo de arrefecimento e considerar o aumento da taxa de renovação de ar recorrendo à ventilação noturna (*nigh flushing* e *freecooling*) através das janelas para os 0,7 h<sup>-1</sup>. Durante o período noturno, as temperaturas atingidas são mais baixas, conseguindo-se assim diminuir as temperaturas registadas no interior da edificação recorrendo à ventilação natural.

Tabela 23: Referências da casa *Passivhaus* para Évora – Solução B

|                                                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Parede: U; espessura de isolamento                           | 0,307 W/(m <sup>2</sup> K); 8 cm  |
| Cobertura: U; espessura de isolamento                        | 0,310 W/(m <sup>2</sup> K); 10 cm |
| Laje suspensa: U; espessura de isolamento                    | 0,516 W/(m <sup>2</sup> K); 4 cm  |
| U <sub>caixilharia</sub>                                     | 1,56 W/(m <sup>2</sup> K)         |
| U <sub>vidro</sub> ; g <sub>vidro</sub>                      | 1,30 W/(m <sup>2</sup> K); 0,66   |
| Sombreamento no Verão                                        | Estores cinza - exterior          |
| Eficiência do sistema de ventilação com recuperação de calor | 77%                               |
| Taxa de renovação do ar                                      | 0,41 h <sup>-1</sup>              |
| Ventilação noturna através das janelas                       | Sim                               |
| Taxa de renovação noturna                                    | 0,70 h <sup>-1</sup>              |
| Ventilação noturna através das janelas                       | Sim                               |
| Sistema de arrefecimento ativo                               | Não                               |
| Climatização via insuflação do ar                            | Sim                               |
| Desumidificação do ar insuflado                              | Não                               |

As Tabelas 24 e 25 apresentam a influência de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* para Évora na redução do risco de sobreaquecimento e na necessidade de arrefecimento, respetivamente. Com as propostas efetuadas para esta solução B consegue-se reduzir o risco de sobreaquecimento em 73% e a necessidade de arrefecimento em 43%.

Tabela 24: Redução do risco de sobreaquecimento em função de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Évora - solução B

| Propostas casa <i>Passivhaus</i> em Évora – solução B                 | Redução do risco de sobreaquecimento |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Temperatura de conforto 25 °C → 26 °C                                 | - 17,7%                              |
| Isolamento nas paredes de 10 cm → 8 cm                                | + 0,1%                               |
| Isolamento na cobertura de 15 cm → 10 cm                              | - 0,3%                               |
| Isolamento na laje suspensa de 6 cm → 4 cm                            | + 0,3%                               |
| Estores de cor branca → estore mais eficiente                         | -1,4%                                |
| Taxa de renovação noturna 0,56 h <sup>-1</sup> → 0,70 h <sup>-1</sup> | -1,6%                                |
| Risco de sobreaquecimento: 29,6% → 9,0%                               |                                      |

Tabela 25: Redução da necessidade de arrefecimento em função de cada proposta efetuada para a casa *Passivhaus* em Évora - solução B

| Propostas casa <i>Passivhaus</i> em Évora – solução B                                           | Redução da necessidade de arrefecimento anual |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Temperatura de conforto 25 °C → 26 °C                                                           | - 5,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Isolamento nas paredes de 10 cm → 8 cm                                                          | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Isolamento na cobertura de 15 cm → 10 cm                                                        | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Isolamento na laje suspensa de 6 cm → 4 cm                                                      | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Estores de cor branca → estore mais eficiente                                                   | - 1,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)                  |
| Taxa de renovação noturna 0,56 h <sup>-1</sup> → 0,70 h <sup>-1</sup>                           | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                      |
| Redução da necessidade de arrefecimento: 15 kWh/(m <sup>2</sup> a) → 8,2 kWh/(m <sup>2</sup> a) |                                               |

Na Tabela 26 estão enumeradas as necessidades energéticas nominais registadas após o cálculo térmico executado pelo PHPP para Évora.

Esta solução apresenta um decréscimo em cerca de 1 kWh/(m<sup>2</sup> a) na necessidade de arrefecimento em relação à solução anterior, devido ao aumento da taxa de ventilação noturna. Para estas soluções não foi contemplado o aumento da ventilação diurna, devido às elevadas temperaturas no exterior, durante o Verão, que ainda promovem mais o aumento da necessidade de arrefecimento e risco de sobreaquecimento. A necessidade de energia primária também decresce, apresentando um valor de 87 kWh/(m<sup>2</sup> a). A taxa de sobreaquecimento apresenta-se abaixo do limite recomendado pela norma, concluindo-se que as temperaturas registadas no interior encontram-se acima de 26°C, 9% do tempo do período da estação de arrefecimento, Verão.

Tabela 26: Requisitos da casa *Passivhaus* para Évora – Solução B

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Necessidade de aquecimento anual   | 13 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Carga de aquecimento               | 10 W/m <sup>2</sup>       |
| Necessidade de arrefecimento anual | 8 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| Carga de arrefecimento             | 19 W/m <sup>2</sup>       |
| Necessidade de energia primária    | 87 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| Taxa de sobreaquecimento           | 9%                        |

Constata-se assim que a solução B proposta para a casa *Passivhaus* em Évora é viável, conseguindo-se atingir um alto nível de conforto, mesmo quando as temperaturas no Verão são muito elevadas e atingindo um baixo consumo energético.

### 7.2.2.1. Síntese

As soluções propostas para a casa *Passivhaus* em Évora são ambas viáveis para zonas climáticas mais quentes. É visível que a solução B apresenta necessidades energéticas nominais mais baixas devido à não utilização de um sistema ativo de arrefecimento. Mas esta solução só se torna regulamentar segundo a norma *Passivhaus* caso seja promovida mais ventilação noturna. Para tal, o seu cumprimento torna-se única e exclusivamente dependente da ação dos utilizadores para que isso aconteça. Por outro lado, a solução A, possui maiores necessidades energéticas nominais, mas possui um sistema ativo de arrefecimento que se alia à ventilação natural de modo a cumprir os requisitos da norma.

Existe ainda mais trabalho a fazer relativamente à adaptabilidade do conceito *Passivhaus* para climas quentes e húmidos. Reconhece-se que é necessário promover mais estudos detalhados para a estação de arrefecimento, Verão, uma vez que a génese do *standard* não foi criada para o problema de sobreaquecimento.

Como já referido, de seguida será feita uma breve análise económica das propostas apresentadas para Bragança, Évora e Aveiro.

## 7.3. Análise económica

Neste subcapítulo é feito uma breve análise económica das propostas efetuadas para casa *Passivhaus* nas zonas climáticas de Bragança, Évora e Aveiro. A partir desta análise económica, pretende-se saber qual o período de recuperação do investimento adicional necessário para construir uma casa *Passivhaus* para as diferentes zonas climáticas referidas.

A avaliação do investimento foi efetuada com base na metodologia, Valor Presente Líquido (*Net Present Value*). Esta metodologia começou a ser utilizada pelos analistas à medida que foram detetadas falhas em outros métodos. O Valor Presente Líquido determina o valor líquido atual de um investimento utilizando taxas de desconto. [21]. O Valor Presente Líquido (VPL) traduz-se através da seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{C_f}{(1+p)^t} \quad (7.1)$$

em que:

$N$  - número de intervalos de tempo;

$t$  - intervalo de referência a partir do ano de referência;

$C_f$  - capital num determinado momento  $t_n$ ;

$p$  - taxa de juro.

Este estudo económico incidu sobre o orçamento efetuado para a proposta da casa *Passivhaus* em relação à casa *Standard* para Aveiro, Bragança e Évora. A Tabela 27

Tabela 27 apresenta o custo aproximado da casa *Passivhaus* e da respetiva casa *Standard* nas diferentes localidades. Assumiu-se que o investimento adicional necessário para construir uma casa *Passivhaus* é de cerca de 10% superior, segundo o estudo elaborado pela *Passive-On*, o custo extra seria de 57 €/m<sup>2</sup>, que rondaria os 7 a 12% superior ao custo de uma casa *Standard* [13]. O custo da casa *Standard* para Bragança apresenta um valor mais elevado devido ao aumento da espessura de isolamento necessário de forma a cumprir as exigências do RCCTE [3]. Tem-se assim, num investimento adicional mais elevado para a construção de uma casa segundo as normas *Passivhaus* para esta zona climática, em relação às outras em estudo.

Tabela 27: Custo casa *Passivhaus* versus casa *Standard*

|                        | Aveiro    | Bragança  | Évora     |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Casa <i>Passivhaus</i> | 170.000 € | 175.000 € | 165.000 € |
| Casa <i>Standard</i>   | 155.000 € | 157.500 € | 148.500 € |
| Investimento adicional | 15.500 €  | 17.500 €  | 15.500 €  |

Para se iniciar este estudo económico foi necessário obter-se os valores atualizados do preço da distribuição da energia elétrica e do gás, das taxas de inflação anuais de ambas e também da taxa de juro aplicado a um empréstimo bancário, representados na Tabela 28.



Tabela 28: Valores atualizados para o ano 2013 do preço da eletricidade, gás, taxas de inflação e de juro

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Preço da eletricidade    | 0,1405 €/kWh |
| Preço do gás             | 0,0709 €/kWh |
| Inflação do preço da luz | 2,80%        |
| Inflação do preço do gás | 2,50%        |
| Taxa de juro             | 3,75%        |

Na Tabela 29 e 30 estão expostas as necessidades de energia elétrica e de gás das propostas efetuadas para a casa *Passivhaus* e para a casa *Standard* nas diferentes localidades, respetivamente.

Tabela 29: Necessidades de energia e elétrica e gás das propostas para casa *Passivhaus* nas diferentes localidades

|                                         | Aveiro | Bragança | Évora - A | Évora - B |
|-----------------------------------------|--------|----------|-----------|-----------|
| Necessidade de energia elétrica [kWh/a] | 7004   | 6936     | 8024      | 6936      |
| Necessidade de gás [kWh/a]              | 4884   | 5069     | 4451      | 4451      |

Tabela 30: Necessidades de energia e elétrica e gás para casa *Standard* nas diferentes localidades

|                                         | Aveiro | Bragança | Évora |
|-----------------------------------------|--------|----------|-------|
| Necessidade de energia elétrica [kWh/a] | 14348  | 29784    | 25024 |
| Necessidade de gás [kWh/a]              | 4884   | 5069     | 4451  |

Com base nos dados da Tabela 29 e 30, é aplicado o método do Valor Presente Líquido. São calculados os consumos de energia elétrica e de gás aplicando as taxas de inflação anuais para a casa *Passivhaus* e para a casa *Standard*. Posteriormente obtém-se o somatório da poupança efetuada desde o primeiro dia de funcionamento da casa construída pela norma *Passivhaus* em relação à solução *Standard*. O tempo de retorno é obtido quando a diferença entre a poupança acumulada ao longo dos anos e o investimento adicional inflacionado com uma taxa de juro a 3,75%/ano for igual a zero. Graficamente, na Figura 92, 93, 94 e 95 estão identificados o tempo de retorno para as propostas efetuadas para a casa *Passivhaus* nas diferentes localidades estudadas.

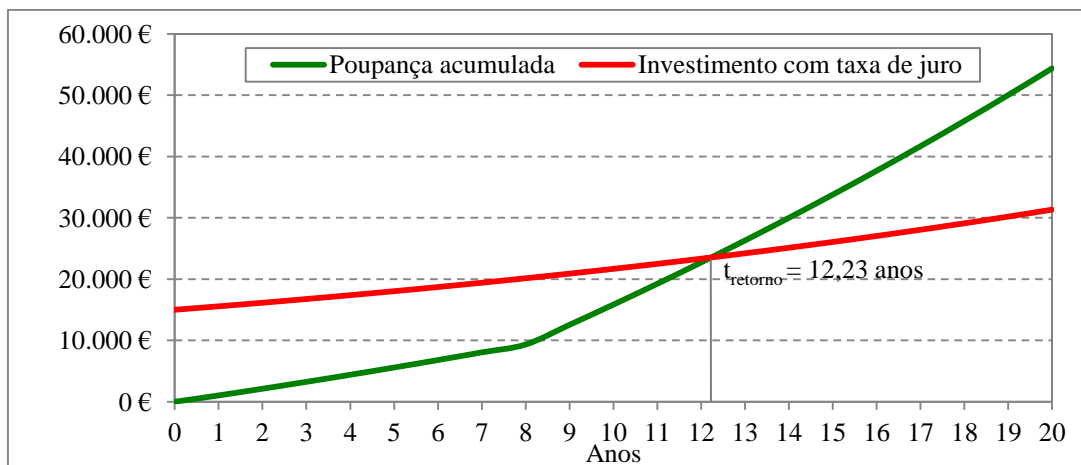


Figura 92: Tempo de retorno do investimento adicional da casa *Passivhaus* para Aveiro

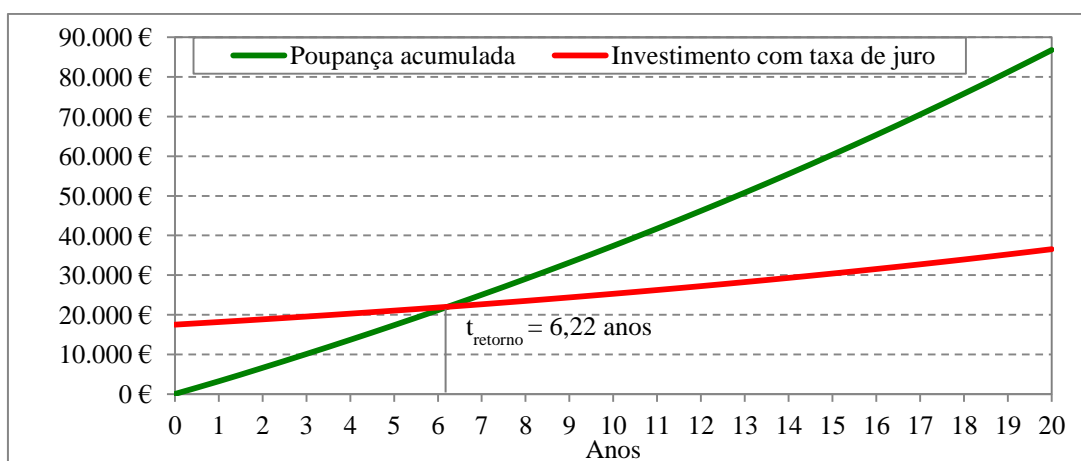


Figura 93: Tempo de retorno do investimento adicional da casa *Passivhaus* para Bragança

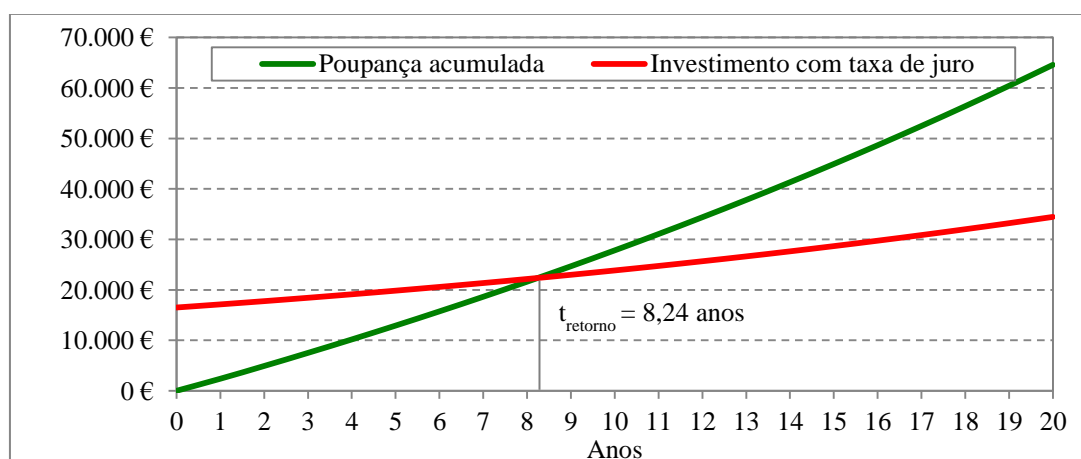


Figura 94: Tempo de retorno do investimento adicional da casa *Passivhaus* para Évora –

Solução A

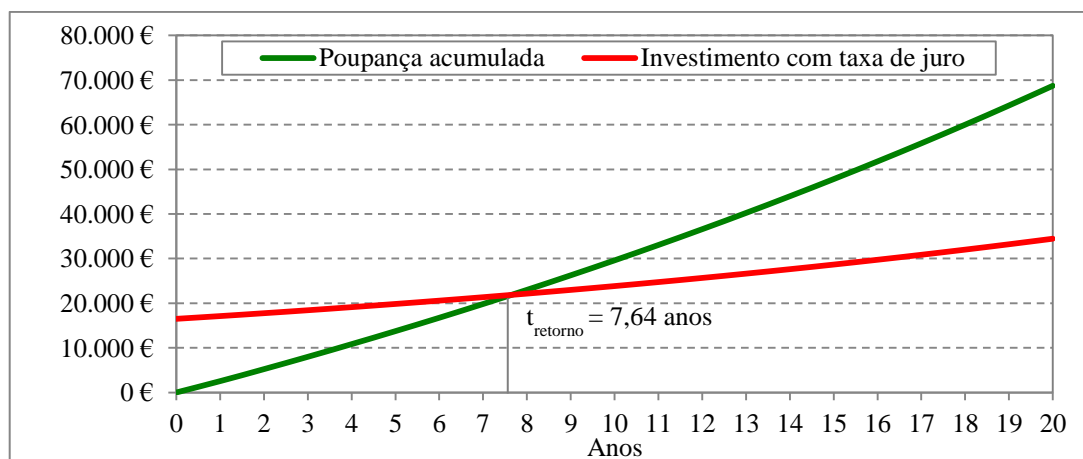


Figura 95: Tempo de retorno do investimento adicional da casa *Passivhaus* para Évora – Solução B

De todas as propostas efetuadas para a casa *Passivhaus* nas diferentes localidades, aquela que apresenta um tempo de retorno maior é a de Aveiro, porque exibe o menor valor da diferença de consumos energéticos em relação à casa *Standard*. A proposta efetuada para Bragança apresenta o menor tempo de retorno, de 6,22 anos. Esta é uma zona climática com um Inverno severo, na qual será necessário, para uma casa *Standard*, um elevado consumo energético para atingir um bom nível de conforto interior ( $T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR} = 50\%$ ). Com as propostas efetuadas para a casa *Passivhaus* para esta zona climática, apenas com um investimento adicional de 10%, diminuiram-se as necessidades energéticas nominais em 77%, conseguindo-se recuperar esse investimento num curto intervalo de tempo. Das propostas efetuadas da casa *Passivhaus* para Évora a marginalmente mais vantajosa em termos económicos é a solução B, apresentando um menor tempo de retorno em relação à solução A. Tal acontece porque a solução B não contempla a ativação de um sistema de arrefecimento ativo, reduzindo as necessidades energéticas nominais e aumentando assim a poupança efetuada em relação à casa *Standard* de Évora.

### 7.3.1. Síntese

Existe viabilidade económica da casa *Passivhaus* para as diferentes zonas climáticas em estudo. Com um acréscimo de investimento na construção em cerca de 10%, consegue-se diminuir drasticamente as necessidades energéticas nominais e recuperar esse investimento num curto intervalo de tempo.

No exercício de conceção do projeto preliminar, o custo adicional de uma casa *Passivhaus* deve ser discutido com o cliente, sendo que é este que decide onde e como gastar o seu dinheiro. Deve no entanto perceber que o investimento inicial terá um retorno a médio prazo, como comprovado neste Capítulo. Os tempos de retorno determinados podem parecer longos (entre 7 a 12 anos), mas representa somente uma fração do tempo de vida do edifício, geralmente projetado para uma vida útil de 50 anos, sendo que a grande maioria permanece em funcionamento durante muitos mais anos. Com uma conceção segundo a norma *Passivhaus* este tempo ainda pode ser ainda maior, visto que são usadas soluções e componentes de alta qualidade. Deste modo, o investimento inicial mais elevado (devido à melhoria das soluções envidraçadas, ao aumento das espessuras de isolamento e à introdução do sistema de ventilação mecânico) torna-se viável, uma vez que estas medidas dificilmente podem ser feitas mais tarde pelo mesmo custo inicial e obtendo a mesma eficácia. À semelhança do que é praticado nos países do Centro da Europa, em que existe um incentivo da parte das instituições bancárias, praticando taxas de juro mais baixas para os empréstimos para construção de casas *Passivhaus*, seria possível obter-se tempos de retorno ainda menores. Para que isso acontecesse em Portugal, teria que ser feito uma divulgação deste conceito a nível nacional junto da comunidade técnica e instituições bancárias, provando e justificando que o seu investimento é viável devido à baixa necessidade energética e como consequência as emissões de CO<sub>2</sub> seriam menores, alegando ser uma boa medida para o meio ambiente. Mesmo em futuras transações destes imóveis, o valor acrescentado é claramente uma mais valia inegável.

A Figura 96 representa a influência nos custos ao longo do ciclo de vida do edifício. Inicialmente, na fase de conceção, é evidenciada a maior influência que se pode ter nos custos totais do ciclo de vida, sendo que, nesta fase são definidas as exigências do edifício na qual podem influir significativamente a construção e os custos de exploração. Quando se atinge a fase de planeamento a influência nos custos da energia decresce para 80 a 85%, isto é, a partir deste ponto os custos apenas podem ser influenciados se houver uma grande investimento financeiro. O cliente deverá estar alertado que a implementação das exigências *Passivhaus* deve ser feita desde o início, obtendo-se assim melhores resultados e sem um acréscimo de custo adicional. A escolha de uma casa com padrão *Passivhaus* numa fase posterior leva a que, o seu custo com o replaneamento é tanto maior quanto mais tarde for tomada esta decisão. Por esta razão todas as pessoas envolvidas no projeto

devem reunir-se numa fase inicial de forma a elaborar e associar-se em volta do objetivo de alcançar uma casa *Passivhaus*.

Conforme apresentado na Figura 97, a implementação da casa *Passivhaus* só é viável se existir um planeamento integral. Até agora, cada fase do projeto era tratada de forma quase independente, existindo pouco envolvimento de todos os intervenientes na fase de execução. O planeamento integral contempla o conhecimento de todas as partes constituintes de modo a coordenarem-se e a obter os resultados pretendidos desde a fase inicial.

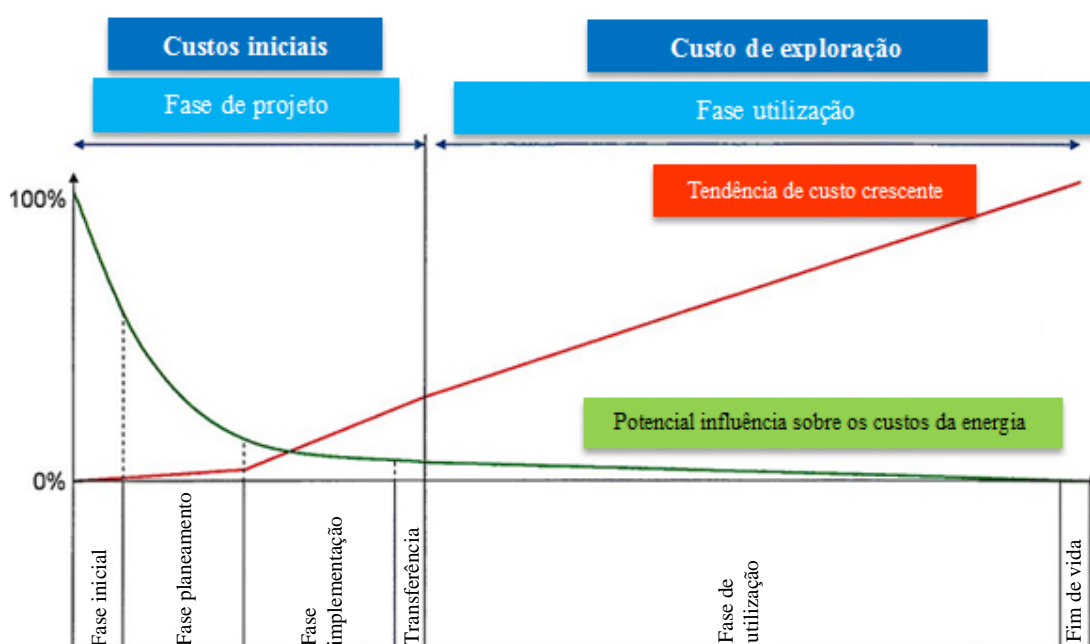


Figura 96: Influência dos custos ao longo do ciclo de vida do edifício (Adaptado: IPHA)



Figura 97: Planeamento integral

Em suma, o elevado custo de investimento na envolvente do edifício na fase inicial da obra é compensado pelo baixo consumo energético durante a vida útil, pelo excelente conforto térmico e pela inigualável qualidade do ar interior, mas tendo estes aspetos um valor/preço associável.

## Capítulo 8

Conclusões

---

---

## Capítulo 8. Conclusões

8.1. Breve descrição do trabalho

8.2. Conclusões principais

8.2.1. Conceito Passivhaus

8.2.2. Balanço energético pelo PHPP versus RCCTE

8.2.3. Adaptabilidade do conceito *Passivhaus* às zonas climáticas

8.2.4. Estudo económico

8.3. Perspetivas futuras



---

## CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES

### 8.1. Breve descrição do trabalho

A presente dissertação abordou a viabilidade da aplicação do conceito *Passivhaus* em climas Mediterrâneos, na qual se insere o clima Português, incidindo o estudo nas diferentes zonas climáticas de Portugal.

Este estudo incidiu num projeto representativo da arquitetura portuguesa, elaborado de acordo com as disposições regulamentares do Decreto-lei 80/2006, situado na região de Aveiro. O estudo iniciou-se com a adaptação das soluções construtivas do projeto em estudo, de forma a cumprir os requisitos da norma *Passivhaus*. Efetuou-se uma análise crítica e a comparativa dos resultados obtidos pela metodologia de balanço térmico do regulamento português relativo à eficiência energética dos edifícios e os resultados obtidos através do PHPP. Após o cálculo térmico da casa *Passivhaus* para Aveiro foi efetuado um estudo paramétrico de modo a identificar-se quais as soluções ótimas a adotar por forma a atingir o cumprimento das exigências da norma *Passivhaus*. Este estudo abordou também a adaptabilidade do caso de estudo para diferentes zonas climáticas do país, na qual se efetuou duas propostas para duas zonas climáticas mais severas, mas distintas, uma muito fria e outra muito quente. Por fim, foi efetuada uma análise económica para determinar qual o tempo de retorno do investimento necessário para a casa *Passivhaus*.

### 8.2. Conclusões principais

#### 8.2.1. Conceito Passivhaus

O conceito da *Passivhaus* surgiu para responder aos requisitos de uma Europa central relativamente fria. Para climas mais amenos, como os Mediterrâneos, embora as casas necessitem de ser aquecidas no Inverno, também deverão ser complementadas pela necessidade de assegurar condições de conforto no Verão, sendo que, em alguns casos é o fator mais dominante.

O conceito *Passivhaus* quando aplicado a climas moderados, como é o português, quando comparado com o dos países do Centro e Norte da Europa, as exigências

necessárias por forma a alcançar a norma *Passivhaus* são menores. Quando elaborado o estudo para um clima mais frio em Portugal apenas foi necessário utilizar-se 15 cm de isolamento nas paredes em contraste com os 30 cm recomendados para a Alemanha. Com uma envolvente térmica menos isolada (menores espessuras de isolamento) consegue-se atingir o mesmo grau de conforto térmico com baixas necessidades energéticas nominais.

Apesar de existir viabilidade da conceção segundo a norma *Passivhaus* para Portugal, deverá existir uma adaptação do conceito dirigido para o nosso clima, apostando numa arquitetura compatibilizada com soluções passivas.

### 8.2.2. Balanço energético pelo PHPP versus RCCTE

Foi efetuado o balanço energético através da ferramenta PHPP, utilizando os dados do projeto de acordo com as disposições regulamentares do Decreto-lei 80/2006. Os dados obtidos segundo esta análise para a necessidade de aquecimento foi de 66,45 kWh/(m<sup>2</sup> a) e de 65,18 kWh/(m<sup>2</sup> a) obtidos pelo RCCTE [3]. Os resultados foram bastante idênticos apresentando um erro de apenas 1,9%.

Após ter sido atingida a conceção *Passivhaus* para Aveiro efetuou-se uma análise crítica e comparativa dos resultados obtidos pela metodologia de balanço térmico pelo RCCTE [3] e os resultados obtidos através do PHPP. Concluindo-se que a poupança energética é substancial, sendo cerca de 77% menor a necessidade de aquecimento e de 43% a necessidade de arrefecimento em relação a uma construção considerada *standard* e de boa qualidade.

### 8.2.3. Adaptabilidade do conceito Passivhaus às zonas climáticas portuguesas

Como ponto de partida, utilizam-se as soluções para a *Passivhaus* de Aveiro para outras zonas climáticas, concluindo-se que para zonas mais severas, no Verão ou no Inverno, não é possível cumprir as exigências da norma (valores da necessidade de aquecimento e arrefecimento muito superiores a 15 kWh/(m<sup>2</sup> a)). Desta análise foram escolhidas duas localidades, Bragança e Évora, que representam zonas climáticas fria e quente, respetivamente.

Após concluído este estudo, verifica-se que existe viabilidade na aplicação do conceito *Passivhaus* para diferentes zonas climáticas de Portugal. Para todas as propostas efetuadas para a região de Aveiro, Bragança e Évora, foi atingido com sucesso o cumprimento dos requisitos da norma *Passivhaus*. Com este estudo, conseguiu-se adaptar um projeto com uma arquitetura contemporânea corrente às diferentes zonas climáticas portuguesas, atingindo um baixo consumo energético, uma boa qualidade de ar interior e acima de tudo, conforto térmico. Nota-se que é necessário também qualificar as empresas e mão-de-obra para mais exigência em termos de tecnologia construtiva e detalhe.

#### 8.2.4. Estudo económico

Para além de existir viabilidade térmica da casa *Passivhaus* para Portugal, também foi constatado a viabilidade económica para as diferentes zonas climáticas em estudo. Com um acréscimo de investimento na construção em cerca de 10%, consegue-se diminuir drasticamente as necessidades energéticas nominais e recuperar esse investimento num curto intervalo de tempo. O acréscimo de investimento na construção advém da adoção de melhores soluções envidraçadas, do aumento das espessuras de isolamento, do sistema de ventilação com recuperação de calor, dos custos associados ao *blower door test* e da monitorização termohigrométrica.

Das propostas efetuadas para a casa *Passivhaus* nas diferentes localidades, aquela que apresenta um tempo de retorno maior é a de Aveiro, com cerca de 12 anos, porque exhibe o menor valor da diferença de consumos energéticos em relação à casa *Standard*. Para a região de Bragança e Évora o tempo de retorno do investimento é de 6 e 8 anos, respetivamente. Refere-se ainda que a qualidade associada às soluções construtivas para cumprir o *Passivhaus*, confere à construção uma durabilidade superior.

O objetivo desta dissertação foi cumprido, verificando-se a viabilidade da definição da casa *Passivhaus* para o clima português, tanto a nível de exigências térmicas como a nível financeiro. Tendo em atenção que as estratégias construtivas adotadas neste estudo são de uso corrente em Portugal, proporcionando que a sua maioria possa ser transposta para outros projetos.

### 8.3. Perspetivas futuras

Após a realização desta dissertação revelou-se que seria interessante aprofundar os estudos, efetuando-se uma simulação dinâmica para este caso de estudo por forma a compararem-se os resultados obtidos pelo método PHPP e a simulação dinâmica.

Noutro âmbito, mas não menos importante seria o estudo da viabilidade da implantação do conceito *Passivhaus* para a reabilitação, tendo ainda mais potencial do ponto de vista económico.

Para climas do Sul da Europa, em que atingem temperaturas mais elevadas no Verão, quando comparados com os do Norte e Centro, seria interessante elaborar-se um estudo de forma mais detalhado, sobre a contribuição da ventilação natural.

Em seguimento deste estudo, também seria interessante, uma avaliação do ciclo de vida de uma casa *Passivhaus* e a sua comparação com o ciclo de vida de uma casa considerada regulamentar à luz do RCCTE [3].

O conceito *Passivhaus* promove o uso de isolamentos com grande espessura, por exemplo em poliestireno extrudido expandido, sendo este um material que deriva de o petróleo. Uma possível abordagem futura seria a associação do conceito *Passivhaus* à utilização de materiais “green”, visando a sua viabilidade ambiental e o benefício ecológico do uso deste tipo de materiais.

O estudo da viabilidade do conceito *Passivhaus* na conceção de casas de custos controlados será também uma mais-valia. Este conceito não é exclusivo de um público com capacidade financeira.

A implementação do conceito *Passivhaus* só é possível de conseguir em pleno se houver um bom detalhe construtivo e acompanhamento de obra. Por isso, numa perspetiva futura seria interessante um estudo de pormenores construtivos adaptados a diferentes tipologias construtivas e desenvolvimento de planos de inspeção e ensaios para apoiar a fiscalização e o acompanhamento de obra.

## **Referências Bibliográficas**

---

## Referências Bibliográficas

1. ADENE, *Guia da eficiência energética*. 2012.
2. Diretiva 2010/31/EU. *Desempenho energético dos edifícios*. Jornal Oficial da União Europeia (19-05-2010) 13-35.
3. Dec. Lei 80/2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Diário da República (4-4-2006).
4. IPHA, *PHPP: Passive House Plannign Package*. Institute Passive House, Darmstadt.
5. Feist, W., *Bauvorbereitendes Forschungsprojekt Passive Häuse*, Darmstadt. 1992.
6. Cardoso, F. and Ascenso, R., *Passivhaus - As novas casas passivas*. Climatização. 2011.
7. Ford, B., Schiano-Phan, R., and Zhongcheng, D., *The Passivhaus Standard in European Warm Climates: Design Guidelines for Comfortable Low Energy Homes*. Part 1. A review of comfortable low energy homes. 2007.
8. Hacienda, C.d.E.Y., Industria, O.G.d., and Minas, E.y., *Guía del estándar Passivhaus - Edificios de consumo energético casi nulo*. 2011.
9. Association, I.P.H. *Passipedia*. Access: 20 Outubro, 2012, from: <http://www.passipedia.org>.
10. Steudle, P. and Anderson, J., *Passivhaus Primer: Providers of Passiv Haus building solutions in Australia*.
11. McLeod, R., Tilford, A., and Mead, K., *Passivhaus primer: Contractor's guide - So you've been asked to build a Passivhaus?* 2006.
12. ITeCons. *Catálogo Online de Pontes Térmicas Lineares*. Access: 2 Dezembro, 2012, from: <http://www.itecons.uc.pt>.
13. Project, P.-O., *A descrição longa do Passive-On*. 2007.
14. IPHA, *Active for more confort: The Passive House*. International Passive House Association, Darmstadt. 2010.

15. McLeod, R., Mead, K., and Standen, M., *Designer's guide: A guide for the design team and local authorities*. 2006.
16. Passive-On, P.-. *Passive-On: Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort*. 2007.
17. Ascenso, R., *Este método está muito bem sistematizado - Hélder Gonçalves*. Climatização. 2011.
18. Schnieders, J., *Passive Houses in South West Europe*. 2<sup>nd</sup>, corrected edition. 2009.
19. *EN 13790, Desempenho energético dos edifícios - Cálculo do consumo energético para aquecimento e arrefecimento*. 2008.
20. Sirgado, J., *Análise do impacto dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios*. Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Outubro de 2010.
21. Souza, M., *Uma contribuição a análise das decisões de investimento privado sob a ótica do ponto de equilíbrio do investimento - PEI - considerado o valor do dinheiro no tempo*. Universidade Federal de Pernambuco. 2006.





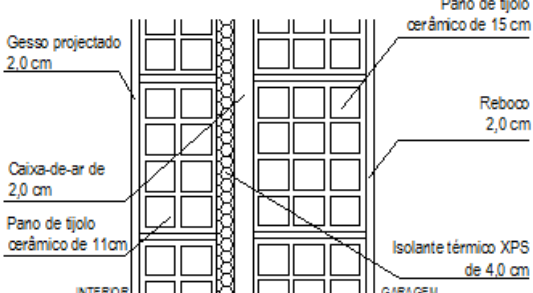
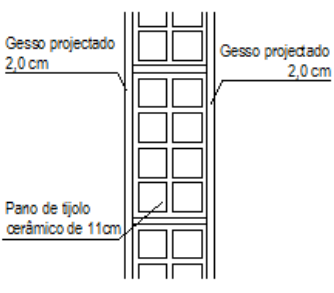
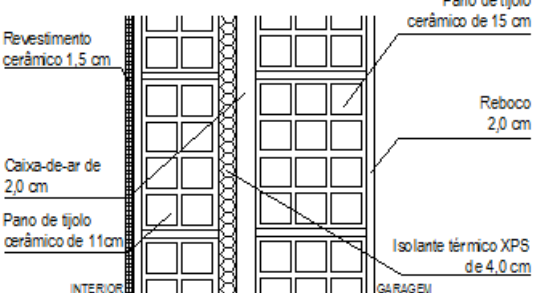
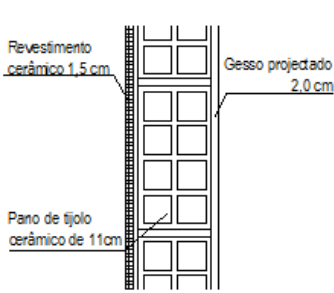
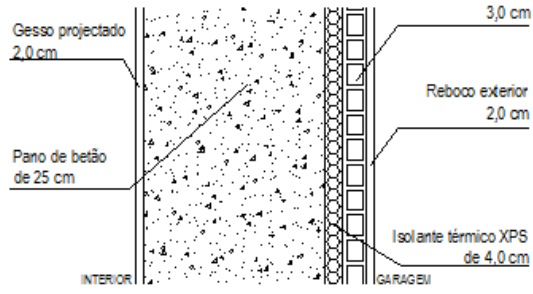
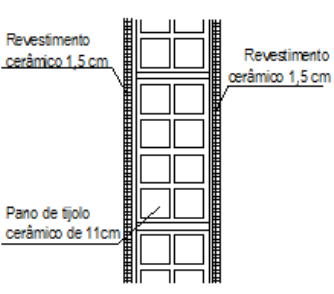
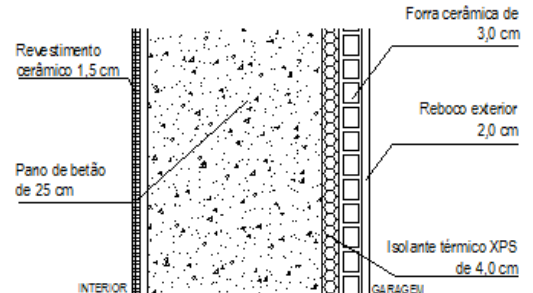
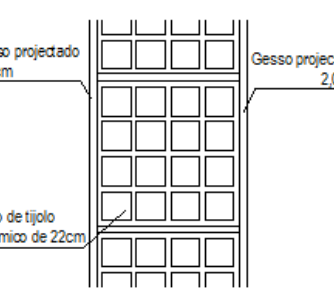
# **ANEXOS**



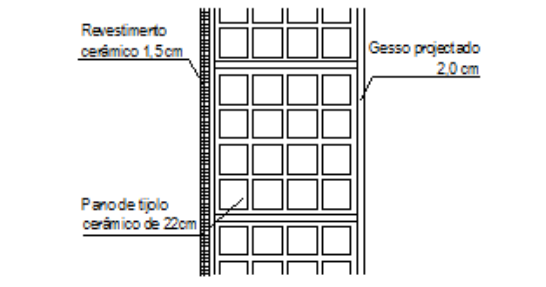
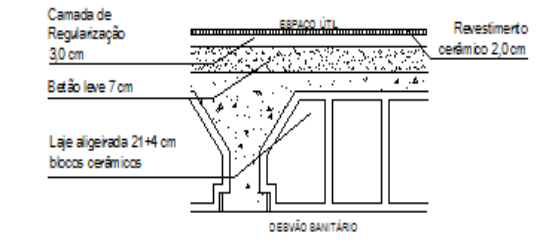
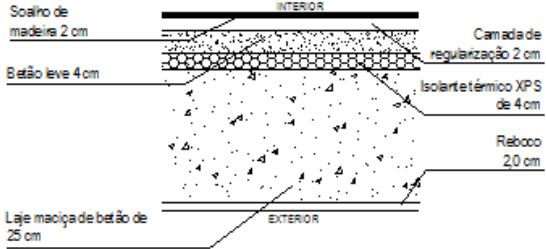
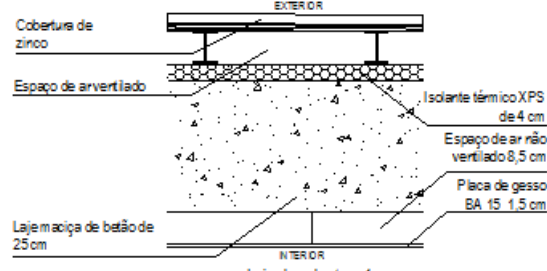
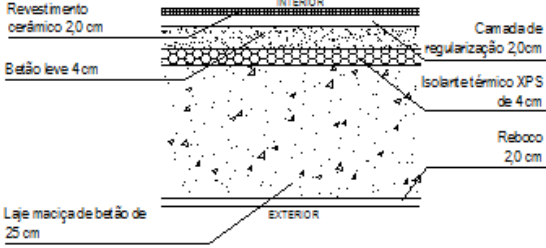
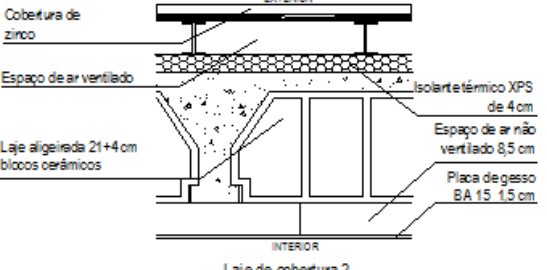
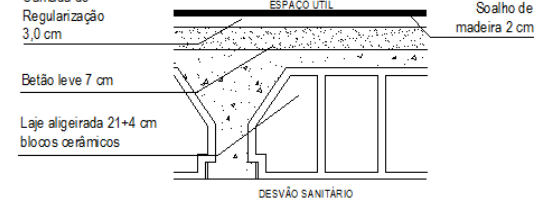
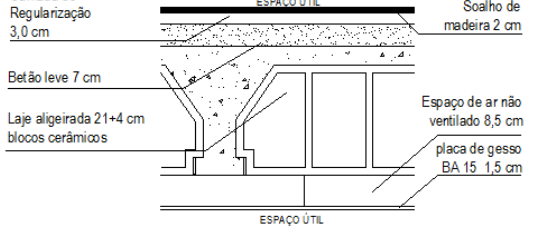
Anexo A (1/5)

|                                   |                                                                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Parede exterior 1<br/>PE 1</p> | <p>Ponte térmica plana exterior 1 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 1</p> |
| <p>Parede exterior 2<br/>PE 2</p> | <p>Parede exterior 2<br/>PE 2</p>                                                |
| <p>Parede exterior 3<br/>PE 3</p> | <p>Ponte térmica plana exterior 3 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 3</p> |
| <p>Parede exterior 4<br/>PE 4</p> | <p>Ponte térmica plana exterior 4 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 4</p> |

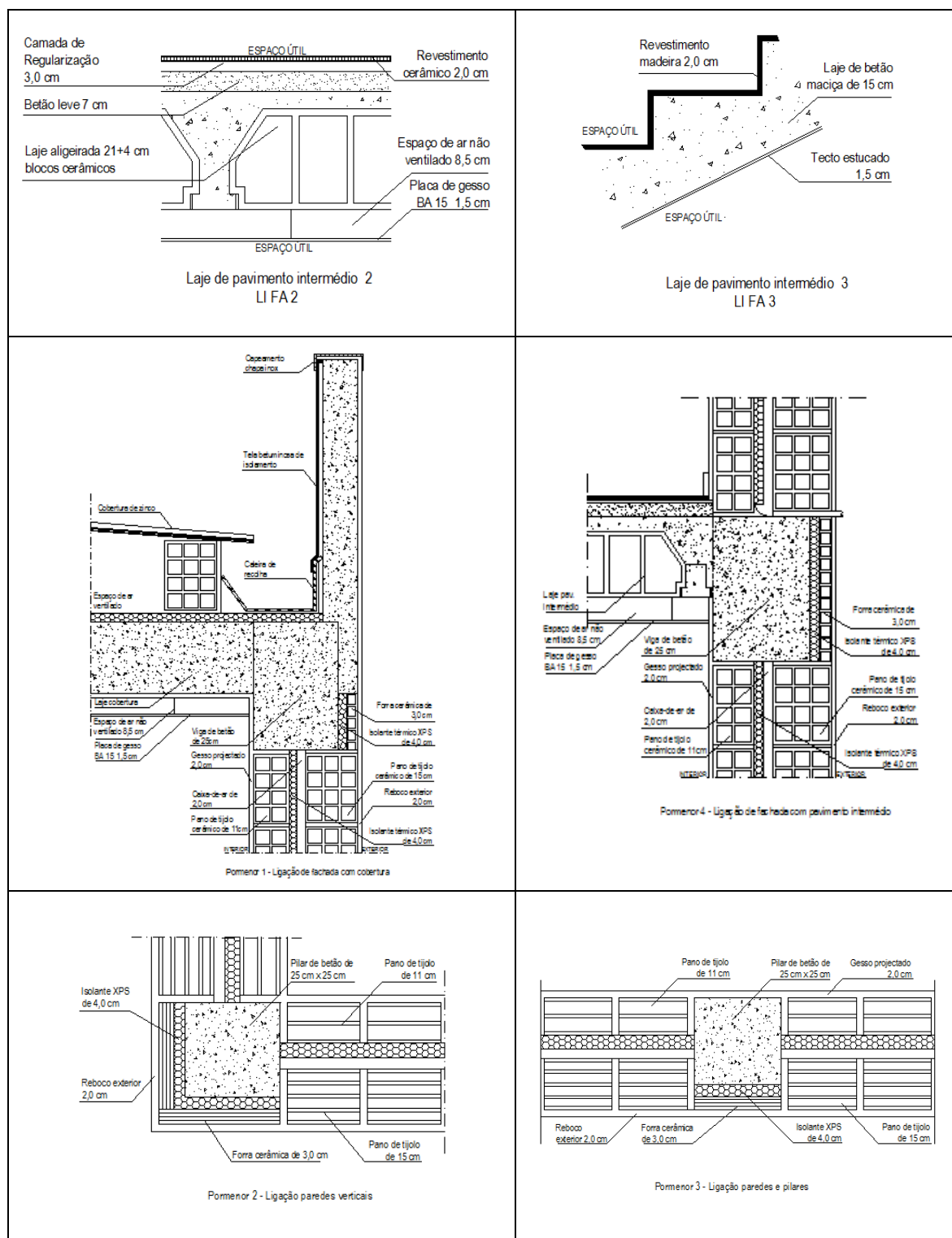
Anexo A (2/5)

|                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Parede interior 1<br/>PI 1</p>                                     |  <p>Parede interior à fracção autónoma 1<br/>PI FA 1</p>   |
|  <p>Parede interior 2<br/>PI 2</p>                                    |  <p>Parede interior à fracção autónoma 2<br/>PI FA 2</p>  |
|  <p>Parede interior 3 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPi 1</p> |  <p>Parede interior à fracção autónoma 3<br/>PI FA 3</p> |
|  <p>Parede interior 4 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPi 2</p> |  <p>Parede interior à fracção autónoma 4<br/>PI FA 4</p> |

Anexo A (3/5)

|                                                                                                                                           |                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Parede interior à fracção autónoma 5<br/>PI FA 5</p> |  <p>Laje de pavimento interior 2<br/>LPI 2</p>       |
|  <p>Laje de pavimento exterior 1<br/>LPE 1</p>          |  <p>Laje de cobertura 1<br/>LCE 1</p>               |
|  <p>Laje de pavimento exterior 2<br/>LPE 2</p>         |  <p>Laje de cobertura 2<br/>LCE 2</p>              |
|  <p>Laje de pavimento interior 1<br/>LPI 1</p>         |  <p>Laje de pavimento intermédio 1<br/>LI FA 1</p> |

Anexo A (4/5)










## Anexo B.1 (1/1) - Folha de cálculo “Verification”

| <b>Passive House verification</b>                                                 |                                  |                       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------|
|  |                                  |                       |          |
| Building:                                                                         | Moradia Unifamiliar Aveiro       |                       |          |
| Street:                                                                           | Lote 3 - EN: 109 - Verdemilho    |                       |          |
| Postcode/City:                                                                    | 3810-384                         |                       |          |
| Country:                                                                          | Portugal                         |                       |          |
| Building Type:                                                                    | Moradia Unifamiliar Aveiro       |                       |          |
| Climate:                                                                          | PT-Aveiro                        |                       |          |
| Home Owner(s) / Client(s):                                                        | Grupo PHPP                       |                       |          |
| Street:                                                                           | Campus Universitário de Santiago |                       |          |
| Postcode/City:                                                                    | 3810-193 Aveiro                  |                       |          |
| Architect:                                                                        | João                             |                       |          |
| Street:                                                                           | Campus Universitário de Santiago |                       |          |
| Postcode/City:                                                                    | 3810-193 Aveiro                  |                       |          |
| Mechanical System:                                                                | João                             |                       |          |
| Street:                                                                           | Campus Universitário de Santiago |                       |          |
| Postcode/City:                                                                    | 3810-193 Aveiro                  |                       |          |
| Year of Construction:                                                             | 2013                             | Interior Temperature: | 20,0 °C  |
| Number of Dwelling Units:                                                         | 1                                | Internal Heat Gains:  | 2,1 W/m² |
| Enclosed Volume V <sub>e</sub> :                                                  | 340,0                            |                       |          |
| Number of Occupants:                                                              | 3,9                              |                       |          |

| Specific building demands with reference to the treated floor area |                                                                     | use: Monthly method |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                    | Treated floor area                                                  | 136,0 m²            |                                                          |
| <b>Space heating</b>                                               | Annual heating demand                                               | 15 kWh/(m²a)        | Requirements: 15 kWh/(m²a) <b>Fulfilled?*</b> <b>yes</b> |
|                                                                    | Heating load                                                        | 9 W/m²              | 10 W/m² <b>yes</b>                                       |
| <b>Space cooling</b>                                               | Overall specific space cooling demand                               | kWh/(m²a)           | - <b>-</b>                                               |
|                                                                    | Cooling load                                                        | W/m²                | - <b>-</b>                                               |
|                                                                    | Frequency of overheating (> 25 °C)                                  | 7,0 %               | - <b>-</b>                                               |
| <b>Primary Energy</b>                                              | Space heating and cooling, dehumidification, household electricity. | 91 kWh/(m²a)        | 120 kWh/(m²a) <b>yes</b>                                 |
|                                                                    | DHW, space heating and auxiliary electricity                        | 53 kWh/(m²a)        | - <b>-</b>                                               |
|                                                                    | Specific primary energy reduction through solar electricity         | kWh/(m²a)           | - <b>-</b>                                               |
| <b>Airtightness</b>                                                | Pressurization test result n <sub>50</sub>                          | 0,6 1/h             | 0,6 1/h <b>yes</b>                                       |

\* empty field: data missing; '-': no requirement

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| <b>Passive House?</b> | <b>yes</b> |
|-----------------------|------------|

|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |                           |          |            |          |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|----------|------------|----------|------------|
| We confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this application. | <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Name:</td> <td style="width: 50%;">Registration number PHPP:</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Surname:</td> <td style="width: 50%;">Issued on:</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Company:</td> <td style="width: 50%;">Signature:</td> </tr> </table> | Name: | Registration number PHPP: | Surname: | Issued on: | Company: | Signature: |
| Name:                                                                                                                                                                                                       | Registration number PHPP:                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |                           |          |            |          |            |
| Surname:                                                                                                                                                                                                    | Issued on:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |                           |          |            |          |            |
| Company:                                                                                                                                                                                                    | Signature:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |                           |          |            |          |            |

## Anexo B.2 (1/1) – Folha de cálculo “Climate data”

## Passive House verification

## CLIMATE DATA

Standard/Regional Climate: Select here.

Regional climate data ▼

Select region here

User Data ▼

Select regional climate here:

PT-Aveiro ▼

Building:

Moradia Unifamiliar Aveiro

Use Regional Data?

Yes

Climate Building

PT-Aveiro

Chosen Method for Heating Demand:

Monthly method ▼

Monthly Data:

PT-Aveiro

Annual Data:

Use Annual Climate Data Set

Results:

Annual Heating Demand

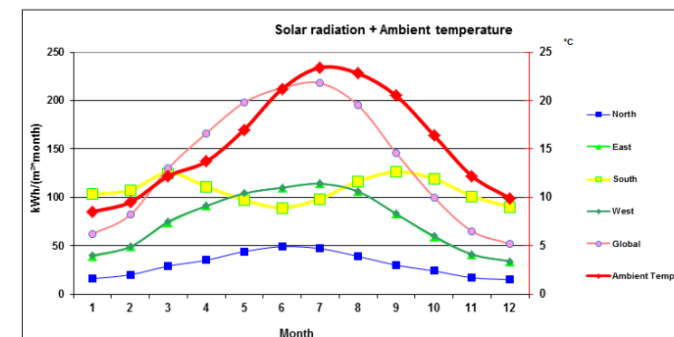
Heating Load

14,9 kWh/(m²a)

9,0 W/m²

Transfer to Annual Method

|                |     |           |
|----------------|-----|-----------|
| H <sub>T</sub> | 126 | d/a       |
| G <sub>i</sub> | 33  | kWh/a     |
| North          | 74  | kWh/(m²a) |
| East           | 181 | kWh/(m²a) |
| South          | 403 | kWh/(m²a) |
| West           | 183 | kWh/(m²a) |
| Horizontal     | 299 | kWh/(m²a) |



| Month                                               | 1         | 2    | 3                | 4    | 5          | 6    | 7                                  | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | Heating Load    |           | Cooling Load |
|-----------------------------------------------------|-----------|------|------------------|------|------------|------|------------------------------------|------|------|------|------|------|-----------------|-----------|--------------|
| Days                                                | 31        | 28   | 31               | 30   | 31         | 30   | 31                                 | 31   | 30   | 31   | 30   | 31   | Weather 1       | Weather 2 | Radiation    |
| Parameters for PHPP Calculated Ground Temperatures: |           |      |                  |      |            |      |                                    |      |      |      |      |      |                 |           |              |
| Phase Shift Months                                  | 2,00      |      |                  |      |            |      |                                    |      |      |      |      |      |                 |           |              |
| Damping                                             | -1,05     |      |                  |      |            |      |                                    |      |      |      |      |      |                 |           |              |
| Depth m                                             | 3,32      |      |                  |      |            |      |                                    |      |      |      |      |      |                 |           |              |
| Shift of Average Temperature K                      | 1,60      |      |                  |      |            |      |                                    |      |      |      |      |      |                 |           |              |
| PT-Aveiro                                           | Latitude: | 40,6 | Longitude ° East | -8,6 | Altitude m | 201  | Daily Temperature Swing Summer (K) |      |      |      |      | 11,1 | Radiation Data: |           |              |
| Ambient Temp                                        | 8,5       | 9,5  | 12,2             | 13,7 | 17,0       | 21,2 | 23,4                               | 22,8 | 20,5 | 16,4 | 12,2 | 9,9  | kWh/(m²*month)  |           |              |
| North                                               | 16        | 20   | 29               | 35   | 44         | 49   | 47                                 | 39   | 30   | 24   | 17   | 15   | Weather 1       |           | Weather 2    |
| East                                                | 39        | 49   | 74               | 91   | 104        | 110  | 114                                | 106  | 83   | 59   | 41   | 34   | Radiation: W/m² |           |              |
| South                                               | 103       | 107  | 125              | 111  | 97         | 89   | 98                                 | 116  | 126  | 119  | 101  | 90   | 6,0             |           | 10,7         |
| West                                                | 40        | 49   | 75               | 91   | 104        | 110  | 114                                | 106  | 83   | 60   | 41   | 34   | 59              |           | 24           |
| Global                                              | 62        | 82   | 130              | 166  | 198        | 213  | 218                                | 195  | 146  | 100  | 65   | 52   | 94              |           | 44           |
| Dew Point                                           | 4,0       | 4,0  | 3,8              | 4,6  | 6,5        | 8,2  | 9,6                                | 10,5 | 9,8  | 9,1  | 7,1  | 5,4  |                 |           |              |
| Sky Temp                                            | -2,7      | -2,6 | -0,8             | 0,9  | 4,2        | 7,9  | 9,2                                | 9,0  | 7,3  | 4,7  | 1,4  | -0,4 |                 |           |              |
| Ground Temp                                         | 12,3      | 11,0 | 11,4             | 13,3 | 17,1       | 20,3 | 22,9                               | 24,2 | 23,8 | 21,9 | 18,1 | 14,9 | 11,0            |           | 11,0         |
|                                                     |           |      |                  |      |            |      |                                    |      |      |      |      |      |                 |           | 24,2         |

## Anexo B.3 (1/5) – Folha de cálculo “U-value”

## Passive House verification

## U-VALUES OF BUILDING ELEMENTS

Building: Moradia Unifamiliar AveiroWedge shaped building element layers and  
still air spaces -> Secondary calculation to the right

| Assembly No. Building assembly description    |                    |                           |                    |                           |                    | Interior insulation? |                      |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 1                                             | PE 1               |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |                    |                           |                    |                           |                    | Interior Rsi: 0,13   |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | exterior Rse: 0,04   |                      |
| Area section 1                                | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                      |
| 1. Reboco                                     | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 15                   |                      |
| 2. XPS                                        | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 100                  |                      |
| 3. Bloco térmico                              | 0,301              |                           |                    |                           |                    | 250                  |                      |
| 4. Gesso projetado                            | 0,300              |                           |                    |                           |                    | 20                   |                      |
| Percentage of Sec. 2                          |                    |                           |                    |                           |                    | Percentage of Sec. 3 |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | Total                | 38,5 cm              |
| U-Value:                                      |                    |                           |                    |                           |                    | 0,264                | W/(m <sup>2</sup> K) |

| Assembly No. Building assembly description    |                    |                           |                    |                           |                    | Interior insulation? |                      |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 2                                             | PE 2               |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |                    |                           |                    |                           |                    | Interior Rsi: 0,13   |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | exterior Rse: 0,04   |                      |
| Area section 1                                | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                      |
| 1. Reboco                                     | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 15                   |                      |
| 2. XPS                                        | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 100                  |                      |
| 3. Bloco térmico                              | 0,301              |                           |                    |                           |                    | 250                  |                      |
| 4. Reboco                                     | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 10                   |                      |
| 5. Revestimento cerâmico                      | 1,040              |                           |                    |                           |                    | 15                   |                      |
| Percentage of Sec. 2                          |                    |                           |                    |                           |                    | Percentage of Sec. 3 |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | Total                | 39,0 cm              |
| U-Value:                                      |                    |                           |                    |                           |                    | 0,268                | W/(m <sup>2</sup> K) |

| Assembly No. Building assembly description    |                    |                           |                    |                           |                    | Interior insulation? |                      |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 3                                             | PE 3               |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |                    |                           |                    |                           |                    | Interior Rsi: 0,13   |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | exterior Rse: 0,13   |                      |
| Area section 1                                | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                      |
| 1. Reboco                                     | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 15                   |                      |
| 2. XPS                                        | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 100                  |                      |
| 3. Bloco térmico                              | 0,301              |                           |                    |                           |                    | 250                  |                      |
| 4. Gesso projetado                            | 0,300              |                           |                    |                           |                    | 20                   |                      |
| Percentage of Sec. 2                          |                    |                           |                    |                           |                    | Percentage of Sec. 3 |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | Total                | 38,5 cm              |
| U-Value:                                      |                    |                           |                    |                           |                    | 0,258                | W/(m <sup>2</sup> K) |

| Assembly No. Building assembly description    |                    |                           |                    |                           |                    | Interior insulation? |                      |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 4                                             | PE 4               |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |                    |                           |                    |                           |                    | Interior Rsi: 0,13   |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | exterior Rse: 0,13   |                      |
| Area section 1                                | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                      |
| 1. Reboco                                     | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 15                   |                      |
| 2. XPS                                        | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 100                  |                      |
| 3. Bloco térmico                              | 0,301              |                           |                    |                           |                    | 250                  |                      |
| 4. Reboco                                     | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 10                   |                      |
| 5. Revestimento cerâmico                      | 1,040              |                           |                    |                           |                    | 15                   |                      |
| Percentage of Sec. 2                          |                    |                           |                    |                           |                    | Percentage of Sec. 3 |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    |                      |                      |
|                                               |                    |                           |                    |                           |                    | Total                | 39,0 cm              |
| U-Value:                                      |                    |                           |                    |                           |                    | 0,261                | W/(m <sup>2</sup> K) |

Anexo B.3 (2/5) – Folha de cálculo “U-value”

|                                               |            |                           |            |                           |            |                      |
|-----------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| Assembly No. Building assembly description    |            |                           |            |                           |            | Interior insulation? |
| 5 PTPe1                                       |            |                           |            |                           |            |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |            | Interior Rsi: 0,13        |            |                           |            |                      |
|                                               |            | exterior Rse: 0,04        |            |                           |            |                      |
| Area section 1                                | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness (mm)       |
| 1 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| 2 XPS                                         | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |
| 3 Pano de betão                               | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |
| 4 Gesso projetado                             | 0,300      |                           |            |                           |            | 20                   |
| Percentage of Sec. 2                          |            | Percentage of Sec. 3      |            | Total                     |            |                      |
|                                               |            |                           |            | 38,5                      |            | cm                   |
| U-Value:                                      |            | 0,325                     |            | W/(m <sup>2</sup> K)      |            |                      |

|                                               |            |                           |            |                           |            |                      |
|-----------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| Assembly No. Building assembly description    |            |                           |            |                           |            | Interior insulation? |
| 6 PTPe2                                       |            |                           |            |                           |            |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |            | Interior Rsi: 0,13        |            |                           |            |                      |
|                                               |            | exterior Rse: 0,04        |            |                           |            |                      |
| Area section 1                                | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness (mm)       |
| 1 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| 2 XPS                                         | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |
| 3 Pano de betão                               | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |
| 4 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 10                   |
| 5 Revestimento Cerâmico                       | 1,040      |                           |            |                           |            | 15                   |
| Percentage of Sec. 2                          |            | Percentage of Sec. 3      |            | Total                     |            |                      |
|                                               |            |                           |            | 39,0                      |            | cm                   |
| U-Value:                                      |            | 0,330                     |            | W/(m <sup>2</sup> K)      |            |                      |

|                                               |            |                           |            |                           |            |                      |
|-----------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| Assembly No. Building assembly description    |            |                           |            |                           |            | Interior insulation? |
| 7 PTPe3                                       |            |                           |            |                           |            |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |            | Interior Rsi: 0,13        |            |                           |            |                      |
|                                               |            | exterior Rse: 0,13        |            |                           |            |                      |
| Area section 1                                | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness (mm)       |
| 1 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| 2 XPS                                         | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |
| 3 Pano de betão                               | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |
| 4 Gesso projetado                             | 0,300      |                           |            |                           |            | 20                   |
| Percentage of Sec. 2                          |            | Percentage of Sec. 3      |            | Total                     |            |                      |
|                                               |            |                           |            | 38,5                      |            | cm                   |
| U-Value:                                      |            | 0,316                     |            | W/(m <sup>2</sup> K)      |            |                      |

|                                               |            |                           |            |                           |            |                      |
|-----------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| Assembly No. Building assembly description    |            |                           |            |                           |            | Interior insulation? |
| 8 PTPe4                                       |            |                           |            |                           |            |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |            | Interior Rsi: 0,13        |            |                           |            |                      |
|                                               |            | exterior Rse: 0,13        |            |                           |            |                      |
| Area section 1                                | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness (mm)       |
| 1 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| 2 XPS                                         | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |
| 3 Pano de betão                               | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |
| 4 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 10                   |
| 5 Revestimento Cerâmico                       | 1,040      |                           |            |                           |            | 15                   |
| Percentage of Sec. 2                          |            | Percentage of Sec. 3      |            | Total                     |            |                      |
|                                               |            |                           |            | 39,0                      |            | cm                   |
| U-Value:                                      |            | 0,320                     |            | W/(m <sup>2</sup> K)      |            |                      |

|                                               |            |                           |            |                           |            |                      |
|-----------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| Assembly No. Building assembly description    |            |                           |            |                           |            | Interior insulation? |
| 9 LPE 1                                       |            |                           |            |                           |            |                      |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] |            | Interior Rsi: 0,17        |            |                           |            |                      |
|                                               |            | exterior Rse: 0,04        |            |                           |            |                      |
| Area section 1                                | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness (mm)       |
| 1 Reboco                                      | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| 2 Laje betão                                  | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |
| 3 XPS                                         | 0,037      |                           |            |                           |            | 150                  |
| 4 Betão leve                                  | 0,850      |                           |            |                           |            | 40                   |
| 5 Camada regularização                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 20                   |
| 6 Soalho madeira                              | 0,180      |                           |            |                           |            | 20                   |
| Percentage of Sec. 2                          |            | Percentage of Sec. 3      |            | Total                     |            |                      |
|                                               |            |                           |            | 49,5                      |            | cm                   |
| U-Value:                                      |            | 0,219                     |            | W/(m <sup>2</sup> K)      |            |                      |

Anexo B.3 (3/5) – Folha de cálculo “U-value”

Assembly No. Building assembly description  
10 LPE 2

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] Interior Rsi: 0,17  
exterior Rse: 0,04

Interior insulation?

| Area section 1           | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm] |
|--------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| 1. Reboco                | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 15             |
| 2. Laje betão            | 2,000              |                           |                    |                           |                    | 250            |
| 3. XPS                   | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 150            |
| 4. Betão leve            | 0,850              |                           |                    |                           |                    | 40             |
| 5. Camada regularização  | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 20             |
| 6. Revestimento cerâmico | 1,040              |                           |                    |                           |                    | 20             |
| Percentage of Sec. 2     |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Percentage of Sec. 3     |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Total                    |                    |                           |                    |                           |                    | 49,5 cm        |

U-Value: 0,223 W/(mK)

Assembly No. Building assembly description  
11 LPI 1

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] Interior Rsi: 0,17  
exterior Rse: 0,17

Interior insulation?

| Area section 1          | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm] |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| 1. XPS                  | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 60             |
| 2. Laje aligeirada      | 0,833              |                           |                    |                           |                    | 250            |
| 3. Camada Betão leve    | 0,850              |                           |                    |                           |                    | 70             |
| 4. Camada regularização | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 30             |
| 5. Soalho madeira       | 0,180              |                           |                    |                           |                    | 20             |
| Percentage of Sec. 2    |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Percentage of Sec. 3    |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Total                   |                    |                           |                    |                           |                    | 43,0 cm        |

U-Value: 0,404 W/(mK)

Assembly No. Building assembly description  
12 LPI 2

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] Interior Rsi: 0,17  
exterior Rse: 0,17

Interior insulation?

| Area section 1           | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm] |
|--------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| 1. XPS                   | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 60             |
| 2. Laje aligeirada       | 0,833              |                           |                    |                           |                    | 250            |
| 3. Camada Betão leve     | 0,850              |                           |                    |                           |                    | 70             |
| 4. Camada regularização  | 1,300              |                           |                    |                           |                    | 30             |
| 5. Revestimento cerâmico | 1,040              |                           |                    |                           |                    | 20             |
| Percentage of Sec. 2     |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Percentage of Sec. 3     |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Total                    |                    |                           |                    |                           |                    | 43,0 cm        |

U-Value: 0,419 W/(mK)

Assembly No. Building assembly description  
13 LCE 1

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] Interior Rsi: 0,10  
exterior Rse: 0,10

Interior insulation?

| Area section 1              | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm] |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| 1. XPS                      | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 150            |
| 2. Laje de betão            | 2,000              |                           |                    |                           |                    | 250            |
| 3. Placa de gesso cartonado | 0,250              |                           |                    |                           |                    | 15             |
| 4. Espaço de ar             | 0,531              |                           |                    |                           |                    | 85             |
| Percentage of Sec. 2        |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Percentage of Sec. 3        |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Total                       |                    |                           |                    |                           |                    | 50,0 cm        |

U-Value: 0,217 W/(mK)

Assembly No. Building assembly description  
14 LCE 2

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] Interior Rsi: 0,10  
exterior Rse: 0,10

Interior insulation?

| Area section 1              | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | $\lambda$ [W/(mK)] | Thickness [mm] |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| 1. XPS                      | 0,037              |                           |                    |                           |                    | 150            |
| 2. Laje aligeirada          | 0,833              |                           |                    |                           |                    | 250            |
| 3. Placa de gesso cartonado | 0,250              |                           |                    |                           |                    | 15             |
| 4. Espaço de ar             | 0,531              |                           |                    |                           |                    | 85             |
| Percentage of Sec. 2        |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Percentage of Sec. 3        |                    |                           |                    |                           |                    |                |
| Total                       |                    |                           |                    |                           |                    | 50,0 cm        |

U-Value: 0,209 W/(mK)

Anexo B.3 (4/5) – Folha de cálculo “U-value”

| Assembly No. Building assembly description                                                                       |            |                           |            |                           |            |                      | Interior insulation?     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|--------------------------|
| 15 PI 1                                                                                                          |            |                           |            |                           |            |                      | <input type="checkbox"/> |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] interior R <sub>si</sub> : 0,13<br>exterior R <sub>se</sub> : 0,13 |            |                           |            |                           |            |                      |                          |
| Area section 1                                                                                                   | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                          |
| 1. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| 2. XPS                                                                                                           | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |                          |
| 3. Bloco térmico                                                                                                 | 0,301      |                           |            |                           |            | 250                  |                          |
| 4. Gesso projetado                                                                                               | 0,300      |                           |            |                           |            | 20                   |                          |
| Percentage of Sec. 2                                                                                             |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 | Total                    |
|                                                                                                                  |            |                           |            |                           |            |                      | 38,5 cm                  |
| U-Value: 0,258 W/(m <sup>2</sup> K)                                                                              |            |                           |            |                           |            |                      |                          |

| Assembly No. Building assembly description                                                                       |            |                           |            |                           |            |                      | Interior insulation?     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|--------------------------|
| 16 PI 2                                                                                                          |            |                           |            |                           |            |                      | <input type="checkbox"/> |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] interior R <sub>si</sub> : 0,13<br>exterior R <sub>se</sub> : 0,13 |            |                           |            |                           |            |                      |                          |
| Area section 1                                                                                                   | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                          |
| 1. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| 2. XPS                                                                                                           | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |                          |
| 3. Bloco térmico                                                                                                 | 0,301      |                           |            |                           |            | 250                  |                          |
| 4. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 10                   |                          |
| 5. Revestimento cerâmico                                                                                         | 1,040      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| Percentage of Sec. 2                                                                                             |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 | Total                    |
|                                                                                                                  |            |                           |            |                           |            |                      | 39,0 cm                  |
| U-Value: 0,261 W/(m <sup>2</sup> K)                                                                              |            |                           |            |                           |            |                      |                          |

| Assembly No. Building assembly description                                                                       |            |                           |            |                           |            |                      | Interior insulation?     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|--------------------------|
| 17 PTPi 1                                                                                                        |            |                           |            |                           |            |                      | <input type="checkbox"/> |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] interior R <sub>si</sub> : 0,13<br>exterior R <sub>se</sub> : 0,13 |            |                           |            |                           |            |                      |                          |
| Area section 1                                                                                                   | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                          |
| 1. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| 2. XPS                                                                                                           | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |                          |
| 3. Pano betão                                                                                                    | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |                          |
| 4. Gesso projetado                                                                                               | 0,300      |                           |            |                           |            | 20                   |                          |
| Percentage of Sec. 2                                                                                             |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 | Total                    |
|                                                                                                                  |            |                           |            |                           |            |                      | 38,5 cm                  |
| U-Value: 0,316 W/(m <sup>2</sup> K)                                                                              |            |                           |            |                           |            |                      |                          |

| Assembly No. Building assembly description                                                                       |            |                           |            |                           |            |                      | Interior insulation?     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|--------------------------|
| 18 PTPi 2                                                                                                        |            |                           |            |                           |            |                      | <input type="checkbox"/> |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] interior R <sub>si</sub> : 0,13<br>exterior R <sub>se</sub> : 0,13 |            |                           |            |                           |            |                      |                          |
| Area section 1                                                                                                   | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                          |
| 1. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| 2. XPS                                                                                                           | 0,037      |                           |            |                           |            | 100                  |                          |
| 3. Pano betão                                                                                                    | 2,000      |                           |            |                           |            | 250                  |                          |
| 4. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 10                   |                          |
| 5. Revestimento cerâmico                                                                                         | 1,040      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| Percentage of Sec. 2                                                                                             |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 | Total                    |
|                                                                                                                  |            |                           |            |                           |            |                      | 39,0 cm                  |
| U-Value: 0,320 W/(m <sup>2</sup> K)                                                                              |            |                           |            |                           |            |                      |                          |

| Assembly No. Building assembly description                                                                       |            |                           |            |                           |            |                      | Interior insulation?     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|--------------------------|
| 19 Caixa de estore (Gesso-reboco)                                                                                |            |                           |            |                           |            |                      | <input type="checkbox"/> |
| Heat transfer resistance [m <sup>2</sup> K/W] interior R <sub>si</sub> : 0,13<br>exterior R <sub>se</sub> : 0,04 |            |                           |            |                           |            |                      |                          |
| Area section 1                                                                                                   | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |                          |
| 1. Gesso projetado                                                                                               | 0,300      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| 2. XPS                                                                                                           | 0,037      |                           |            |                           |            | 80                   |                          |
| 3. Cx. Estore                                                                                                    | 0,421      |                           |            |                           |            | 230                  |                          |
| 4. XPS                                                                                                           | 0,037      |                           |            |                           |            | 40                   |                          |
| 5. Reboco                                                                                                        | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |                          |
| Percentage of Sec. 2                                                                                             |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 | Total                    |
|                                                                                                                  |            |                           |            |                           |            |                      | 38,0 cm                  |
| U-Value: 0,249 W/(m <sup>2</sup> K)                                                                              |            |                           |            |                           |            |                      |                          |

Anexo B.3 (5/5) – Folha de cálculo “U-value”

Assembly No. Building assembly description  
**20** **Caixa de estore (Cerâmica-reboco)**

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] interior R<sub>si</sub> : **0,13**  
 exterior R<sub>se</sub> : **0,04**

Interior insulation? ☐

| Area section 1           | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |
|--------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 1. Revestimento cerâmico | 1,040      |                           |            |                           |            | 20                   |
| 2. XPS                   | 0,037      |                           |            |                           |            | 80                   |
| 3. Cx. Estore            | 0,421      |                           |            |                           |            | 230                  |
| 4. XPS                   | 0,037      |                           |            |                           |            | 40                   |
| 5. Reboco                | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| Percentage of Sec. 2     |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 |
|                          |            |                           |            |                           |            |                      |
| Total                    |            |                           |            |                           |            | <b>38,5</b> cm       |

U-Value: **0,251** W/(m<sup>2</sup>K)

Assembly No. Building assembly description  
**21** **Caixa de estore (Gesso-fachada ventilada)**

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] interior R<sub>si</sub> : **0,13**  
 exterior R<sub>se</sub> : **0,13**

Interior insulation? ☐

| Area section 1       | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |
|----------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 1. Gesso projetado   | 0,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| 2. XPS               | 0,037      |                           |            |                           |            | 80                   |
| 3. Cx. Estore        | 0,421      |                           |            |                           |            | 230                  |
| 4. XPS               | 0,037      |                           |            |                           |            | 40                   |
| 5. Reboco            | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| Percentage of Sec. 2 |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 |
|                      |            |                           |            |                           |            |                      |
| Total                |            |                           |            |                           |            | <b>38,0</b> cm       |

U-Value: **0,243** W/(m<sup>2</sup>K)

Assembly No. Building assembly description  
**22** **Caixa de estore (Cerâmica-fachada ventilada)**

Heat transfer resistance [m<sup>2</sup>K/W] interior R<sub>si</sub> : **0,13**  
 exterior R<sub>se</sub> : **0,13**

Interior insulation? ☐

| Area section 1           | λ [W/(mK)] | Area section 2 (optional) | λ [W/(mK)] | Area section 3 (optional) | λ [W/(mK)] | Thickness [mm]       |
|--------------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 1. Revestimento cerâmico | 1,040      |                           |            |                           |            | 20                   |
| 2. XPS                   | 0,037      |                           |            |                           |            | 80                   |
| 3. Cx. Estore            | 0,421      |                           |            |                           |            | 230                  |
| 4. XPS                   | 0,037      |                           |            |                           |            | 40                   |
| 5. Reboco                | 1,300      |                           |            |                           |            | 15                   |
| Percentage of Sec. 2     |            |                           |            |                           |            | Percentage of Sec. 3 |
|                          |            |                           |            |                           |            |                      |
| Total                    |            |                           |            |                           |            | <b>38,5</b> cm       |

U-Value: **0,245** W/(m<sup>2</sup>K)

Anexo B.4 (1/1) – Folha de cálculo “U-list”

## Passive House verification

### U - L I S T

Compilation of the building elements calculated in the U-Values worksheet and other construction types from databases.

| Assembly No. | Type                                         | Total thickness | U-Value |
|--------------|----------------------------------------------|-----------------|---------|
|              | Assembly description                         |                 |         |
|              |                                              | m               | W/(m²K) |
| 1            | PE 1                                         | 0,405           | 0,263   |
| 2            | PE 2                                         | 0,410           | 0,267   |
| 3            | PE 3                                         | 0,405           | 0,257   |
| 4            | PE 4                                         | 0,410           | 0,260   |
| 5            | PTPe1                                        | 0,405           | 0,323   |
| 6            | PTPe2                                        | 0,410           | 0,328   |
| 7            | PTPe3                                        | 0,405           | 0,314   |
| 8            | PTPe4                                        | 0,410           | 0,319   |
| 9            | LPE 1                                        | 0,495           | 0,219   |
| 10           | LPE 2                                        | 0,495           | 0,223   |
| 11           | LPI 1                                        | 0,430           | 0,404   |
| 12           | LPI 2                                        | 0,430           | 0,419   |
| 13           | LCE 1                                        | 0,500           | 0,217   |
| 14           | LCE 2                                        | 0,500           | 0,209   |
| 15           | PI 1                                         | 0,385           | 0,258   |
| 16           | PI 2                                         | 0,390           | 0,261   |
| 17           | PTPi 1                                       | 0,385           | 0,316   |
| 18           | PTPi 2                                       | 0,390           | 0,320   |
| 19           | Caixa de estore (Gesso-reboco)               | 0,380           | 0,249   |
| 20           | Caixa de estore (Cerâmica-reboco)            | 0,385           | 0,251   |
| 21           | Caixa de estore (Gesso-fachada ventilada)    | 0,380           | 0,243   |
| 22           | Caixa de estore (Cerâmica-fachada ventilada) | 0,385           | 0,245   |



Anexo B.5 (1/1) – Folha de cálculo “Ground”

Passive House verification

HEAT LOSSES VIA THE GROUND

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|-------------|---------|
| <b>Ground Characteristics</b><br>Thermal Conductivity $\lambda$ 2,0 W/(mK)<br>Heat Capacity $\rho C$ 2,0 MJ/(m³K)<br>Periodic Penetration Depth $\delta$ 3,17 m                                                                                                                                                                       |      |      |      | <b>Climate Data</b><br>Av. Indoor Temp. Winter $T_i$ 20,0 °C<br>Av. Indoor Temp. Summer $T_i$ 25,0 °C<br>Average Ground Surface Temperature $T_{g,ave}$ 16,6 °C<br>Amplitude of $T_{g,ave}$ $T_{g,\Delta}$ 7,5 °C<br>Length of the Heating Period $n$ 4,2 months<br>Heating Degree Hours - Exterior $G_e$ 32,6 kWh/a |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Building Data</b><br>Floor Slab Area $A$ 69,2 m²<br>Floor Slab Perimeter $P$ 34,9 m<br>Charact. Dimension of Floor Slab $B'$ 3,97 m                                                                                                                                                                                                |      |      |      | U-value floor slab/basement ceiling $U_{lf}$ 0,409 W/(m²K)<br>Thermal bridges floor slab/basement $\Psi_{B'}^I$ 0,00 W/K<br>U-value floor slab/basement ceiling $U_{lf}'$ 0,409 W/(m²K)<br>Eq. Thickness Floor $d_{lf}$ 4,89 m                                                                                       |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Floor Slab Type (select only one)</b><br><input type="checkbox"/> Heated Basement or Underground Floor Slab<br><input checked="" type="checkbox"/> Slab on Grade                                                                                                                                                                   |      |      |      | <input type="checkbox"/> Unheated basement<br><input checked="" type="checkbox"/> Suspended Floor                                                                                                                                                                                                                    |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>For Basement or Underground Floor Slab</b><br>Basement Depth $Z$ m                                                                                                                                                                                                                                                                 |      |      |      | U-Value Belowground Wall $U_{wB}$ W/(m²K)                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Additionally for Unheated Basements</b><br>Air Change Unheated Basement $n$ h⁻¹<br>Basement Volume $V$ m³                                                                                                                                                                                                                          |      |      |      | Height Aboveground Wall $h$ m<br>U-Value Aboveground Wall $U_{wW}$ 0,263 W/(m²K)<br>U-Value Basement Floor Slab $U_{lfB}$ W/(m²K)                                                                                                                                                                                    |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>For Perimeter Insulation for Slab on Grade</b><br>Perimeter Insulation Width/Depth $D$ m<br>Perimeter Insulation Thickness $d_n$ m<br>Conductivity Perimeter Insulation $\lambda_n$ W/(mK)<br>Orientation of the Perimeter Ins. (check only one field)<br><input type="checkbox"/> horizontal<br><input type="checkbox"/> vertical |      |      |      | <b>For Suspended Floor</b><br>U-Value Crawl Space $U_{Crawl}$ 5,900 W/(m²K)<br>Height of Crawl Space Wall $h$ 0,66 m<br>U-Value Crawl Space Wall $U_{wW}$ 0,276 W/(m²K)<br>Area of Ventilation Openings $\Sigma P$ 0,40 m²<br>Wind Velocity at 10 m Height $v$ 4,0 m/s<br>Wind Shield factor $f_{wW}$ 0,05           |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Additional Thermal Bridge Heat Losses at Perimeter</b><br>Phase Shift $\beta$ months                                                                                                                                                                                                                                               |      |      |      | Steady-State Fraction $\Psi_{Pstat}^I$ 0,000 W/K<br>Harmonic Fraction $\Psi_{Pharm}^I$ 0,000 W/K                                                                                                                                                                                                                     |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Groundwater Correction</b><br>Depth of the Groundwater Table $z_w$ 3,0 m<br>Groundwater Flow Rate $q_w$ 0,05 m/d<br>Groundwater Correction Factor $G_w$ 1,0102992                                                                                                                                                                  |      |      |      | Transm. Belowground El. (w/o Ground) $L_{w0}$ 408,34 W/K<br>Relative Insulation Standard $d/B'$ 0,09 -<br>Relative Groundwater Depth $z_w/B'$ 0,76 -<br>Relative Groundwater Velocity $I/B'$ 0,21 -                                                                                                                  |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Basement or Underground Floor Slab</b><br>Eq. Thickness Floor Slab $d_{lf}$ m<br>U-Value Floor Slab $U_{lf}$ W/(m²K)<br>Eq. Thickness Basement Wall $d_w$ m<br>U-Value Wall $U_{bw}$ W/(m²K)<br>Steady-State Transmittance $L_S$ W/K                                                                                               |      |      |      | Phase Shift $\beta$ months<br>Exterior Periodic Transmittance $L_{pe}$ W/K                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Unheated Basement</b><br>Steady-State Transmittance $L_S$ W/K                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |      |      | Phase Shift $\beta$ months<br>Exterior Periodic Transmittance $L_{pe}$ W/K                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Slab on Grade</b><br>Heat Transfer Coefficient $U_0$ W/(m²K)<br>Eq. Ins. Thickness Perimeter Ins. $d'$ m<br>Perimeter Insulation Correction $\Delta\Psi$ W/(mK)<br>Steady-State Transmittance $L_S$ W/K                                                                                                                            |      |      |      | Phase Shift $\beta$ months<br>Exterior Periodic Transmittance $L_{pe}$ W/K                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Suspended Floor Above a Ventilated Crawl Space (at max. 0.5 m Below Ground)</b><br>Eq. Ins. Thickness Crawl Space $d_g$ 0,34 m<br>U-Value Crawl Space Floor Slab $U_g$ 1,15 W/(m²K)<br>U-Value Crawl Space Wall & Vent. $U_x$ 0,93 W/(m²K)<br>Steady-State Transmittance $L_S$ 23,65 W/K                                           |      |      |      | Phase Shift $\beta$ 1,29 months<br>Exterior Periodic Transmittance $L_{pe}$ 25,89 W/K                                                                                                                                                                                                                                |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Interim Results</b><br>Phase Shift $\beta$ 1,29 months<br>Steady-State Transmittance $L_S$ 23,65 W/K<br>Exterior Periodic Transmittance $L_{pe}$ 23,65 W/K                                                                                                                                                                         |      |      |      | Steady-State Heat Flow $\Phi_{stat}$ 79,4 W<br>Periodic Heat Flow $\Phi_{harm}$ 112,0 W<br>Heat Losses During Heating Period $Q_{tot}$ 580 kWh                                                                                                                                                                       |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| Ground reduction factor for "Annual Heating Demand" sheet                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |      |      | <b>0,63</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| <b>Monthly Average Ground Temperatures for Monthly Method</b>                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |      |      |                        |      |      |      |             |         |
| Month                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1    | 2    | 3    | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 5    | 6    | 7    | 8                      | 9    | 10   | 11   | 12          | Average |
| Winter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 12,3 | 11,0 | 11,4 | 13,3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 16,3 | 19,5 | 22,1 | 23,3                   | 23,0 | 21,1 | 18,1 | 14,9        | 17,2    |
| Summer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 13,2 | 11,9 | 12,2 | 14,1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 17,1 | 20,3 | 22,9 | 24,2                   | 23,8 | 21,9 | 19,0 | 15,8        | 18,0    |
| Design Ground Temperature for Heating Load Sheet                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |      |      | <b>11,0</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |      |      | for Cooling Load Sheet |      |      |      | <b>24,2</b> |         |

## Anexo B. Folhas de cálculo do PHPP

### Anexo B.6 (1/3) – Folha de cálculo “Areas”

#### AREAS DETERMINATION

Building: Moradia Unifamiliar Aveiro Heating demand: 15 kWh/(m²s)

| Summary                |                               |            |        |      |                                                                                             | Building element overview     | Average U-Value [W/(m²K)] |
|------------------------|-------------------------------|------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Group Nr.              | Area group                    | Temp. zone | Area   | Unit | Comments                                                                                    |                               |                           |
| 1                      | Treated Floor Area            |            | 136,00 | m²   | Living area or useful area within the thermal envelope                                      |                               |                           |
| 2                      | North Windows                 | A          | 12,71  | m²   | Results are from the Windows worksheet.                                                     | North Windows                 | 1,551                     |
| 3                      | East Windows                  | A          | 11,80  | m²   |                                                                                             | East Windows                  | 1,635                     |
| 4                      | South Windows                 | A          | 22,53  | m²   |                                                                                             | South Windows                 | 1,502                     |
| 5                      | West Windows                  | A          | 1,01   | m²   |                                                                                             | West Windows                  | 1,750                     |
| 6                      | Horizontal Windows            | A          | 0,00   | m²   |                                                                                             | Horizontal Windows            |                           |
| 7                      | Exterior Door                 | A          | 0,00   | m²   | Please subtract area of door from respective building element                               | Exterior Door                 |                           |
| 8                      | Exterior Wall - Ambient       | A          | 118,64 | m²   | Window areas are subtracted from the individual areas specified in the "Windows" worksheet. | Exterior Wall - Ambient       | 0,270                     |
| 9                      | Exterior Wall - Ground        | B          | 0,00   | m²   | Temperature Zone "A" is ambient air.                                                        | Exterior Wall - Ground        |                           |
| 10                     | Roof/Ceiling - Ambient        | A          | 77,96  | m²   | Temperature zone "B" is the ground.                                                         | Roof/Ceiling - Ambient        | 0,211                     |
| 11                     | Floor slab / basement ceiling | B          | 69,21  | m²   |                                                                                             | Floor slab / basement ceiling | 0,409                     |
| 12                     |                               |            | 0,00   | m²   | Temperature zones "A", "B", "P" and "X" may be used. NOT "I"                                |                               |                           |
| 13                     |                               |            | 0,00   | m²   | Temperature zones "A", "B", "P" and "X" may be used. NOT "I"                                |                               |                           |
| 14                     | Paredes Interiores            | X          | 15,47  | m²   | Temperature zone "X". Please provide user-defined reduction factor (0 < f, < 1): <u>92%</u> | Paredes Interiores            | 0,267                     |
|                        |                               |            |        |      |                                                                                             | Thermal Bridge Overview       | Ψ [W/(mK)]                |
| 15                     | Thermal Bridges Ambient       | A          | 235,10 | m    | Units in m                                                                                  | Thermal Bridges Ambient       | 0,081                     |
| 16                     | Perimeter Thermal Bridges     | P          | 0,00   | m    | Units in m; temperature zone "P" is perimeter (see Ground worksheet).                       | Perimeter Thermal Bridges     |                           |
| 17                     | Thermal Bridges Floor Slab    | B          | 0,00   | m    | Units in m                                                                                  | Thermal Bridges Floor Slab    |                           |
| 18                     | Partition Wall to Neighbour   | I          | 0,00   | m²   | No heat losses, only considered for the heating load calculation.                           | Partition Wall to Neighbour   |                           |
| Total thermal envelope |                               |            | 329,33 | m²   |                                                                                             | Average Therm. Envelope       | 0,530                     |

| Thermal Bridge Inputs |                                            |           |                         |          |     |                            |   |                                        |     |              |                                                      |          |
|-----------------------|--------------------------------------------|-----------|-------------------------|----------|-----|----------------------------|---|----------------------------------------|-----|--------------|------------------------------------------------------|----------|
| No.                   | Thermal bridge description                 | Group Nr. | Assigned to group       | Quantity | x ( | User determined length [m] | - | Subtraction user-determined length [m] | ) = | Length ℓ [m] | Input of thermal bridge heat loss coefficient W/(mK) | Ψ W/(mK) |
| 1                     | Fachada com pavimentos intermédios         | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 14,53                      | - |                                        | ) = | 14,53        | Fachada com pavimentos intermédios                   | -0,003   |
| 2                     | Fachada com cobertura inclinada ou terraço | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 30,77                      | - |                                        | ) = | 30,77        | Fachada com cobertura inclinada ou terraço           | 0,100    |
| 3                     | Fachada com varanda                        | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 21,84                      | - |                                        | ) = | 21,84        | Fachada com varanda                                  | 0,120    |
| 4                     | Doas paredes verticais                     | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 25,00                      | - |                                        | ) = | 25,00        | Doas paredes verticais                               | -0,073   |
| 5                     | Fachada / ombreira ou peitoril             | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 58,09                      | - |                                        | ) = | 58,09        | Fachada / ombreira ou peitoril                       | 0,100    |
| 6                     | Fachada com soleira                        | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 18,40                      | - |                                        | ) = | 18,40        | Fachada com soleira                                  | 0,120    |
| 7                     | Outra                                      | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 40,36                      | - |                                        | ) = | 40,36        | Outra                                                | 0,100    |
| 8                     | Fachada com caixa de estores               | 15        | Thermal Bridges Ambient | 1        | x ( | 26,11                      | - |                                        | ) = | 26,11        | Fachada com caixa de estores                         | 0,120    |

Anexo B.6 (2/3) – Folha de cálculo “Areas”

| Area input |                                                                 |           |                               |                                            |     |          |   |          |   |                           |   |                            |   |                                     |     |              |                                                                |                       | U-Value<br>[W/(m²K)]           |   |    |       |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----|----------|---|----------|---|---------------------------|---|----------------------------|---|-------------------------------------|-----|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|----|-------|
| Area Nr.   | Building element description                                    | Group Nr. | Assigned to group             | Quantity                                   | x ( | a<br>[m] | x | b<br>[m] | + | User-Deter-<br>mined [m²] | - | User Sub-<br>traction [m²] | - | Subtraction<br>window areas<br>[m²] | ) = | Area<br>[m²] | Selection of the<br>corresponding building<br>element assembly | Nr.                   |                                |   |    |       |
|            | Treated Floor Area                                              | 1         | Treated Floor Area            | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 136,00                    | - |                            |   |                                     | ) = | 136,0        |                                                                |                       |                                |   |    |       |
|            | North Windows                                                   | 2         | North Windows                 | Please complete in Windows worksheet only! |     |          |   |          |   |                           |   |                            |   |                                     |     | 12,7         | From Windows sheet                                             | 1,551                 |                                |   |    |       |
|            | East Windows                                                    | 3         | East Windows                  |                                            |     |          |   |          |   |                           |   |                            |   |                                     |     |              | 11,8                                                           | From Windows sheet    | 1,635                          |   |    |       |
|            | South Windows                                                   | 4         | South Windows                 |                                            |     |          |   |          |   |                           |   |                            |   |                                     |     |              | 22,5                                                           | From Windows sheet    | 1,502                          |   |    |       |
|            | West Windows                                                    | 5         | West Windows                  |                                            |     |          |   |          |   |                           |   |                            |   |                                     |     |              | 1,0                                                            | From Windows sheet    | 1,750                          |   |    |       |
|            | Horizontal Windows                                              | 6         | Horizontal Windows            |                                            |     |          |   |          |   |                           |   |                            |   |                                     |     |              | 0,0                                                            | From Windows sheet    | 0,000                          |   |    |       |
|            | Exterior Door                                                   | 7         | Exterior Door                 |                                            |     | x (      |   | x        |   | +                         |   | -                          |   |                                     |     | ) -          |                                                                | U-Value Exterior Door |                                |   |    |       |
| 1          | Parede exterior 1 Norte                                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 10,10                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 10,1                  | PE 1                           | ▼ | 1  | 0,263 |
| 2          | Parede exterior 1 Este                                          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 11,23                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 11,2                  | PE 1                           | ▼ | 1  | 0,263 |
| 3          | Parede exterior 1 Sul                                           | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,70                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,7                   | PE 1                           | ▼ | 1  | 0,263 |
| 4          | Parede exterior 2 Norte                                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 9,47                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 9,5                   | PE 2                           | ▼ | 2  | 0,267 |
| 5          | Parede exterior 2 Oeste                                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 1,40                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 1,4                   | PE 2                           | ▼ | 2  | 0,267 |
| 6          | Parede exterior 3 Este                                          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 6,37                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 6,4                   | PE 3                           | ▼ | 3  | 0,257 |
| 7          | Parede exterior 3 Oeste                                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 32,35                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 32,4                  | PE 3                           | ▼ | 3  | 0,257 |
| 8          | Parede exterior 4 Este                                          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 15,60                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 15,6                  | PE 4                           | ▼ | 4  | 0,260 |
| 9          | Parede exterior 4 Sul                                           | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 6,02                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 6,0                   | PE 4                           | ▼ | 4  | 0,260 |
| 10         | Laje de cobertura 1                                             | 10        | Roof/Ceiling - Ambient        | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 5,00                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 5,0                   | LCE 1                          | ▼ | 13 | 0,217 |
| 11         | Laje de cobertura 2                                             | 10        | Roof/Ceiling - Ambient        | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 64,63                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 64,6                  | LCE 2                          | ▼ | 14 | 0,209 |
| 12         | Parede interior 1-garagem                                       | 14        | Paredes Interiores            | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 6,56                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 6,6                   | PI 1                           | ▼ | 15 | 0,258 |
| 13         | Parede interior 2-garagem                                       | 14        | Paredes Interiores            | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 7,15                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 7,2                   | PI 2                           | ▼ | 16 | 0,261 |
| 14         | Ponte térmica plana zona de talão de viga 1 Interior            | 14        | Paredes Interiores            | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,55                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,6                   | PTPI 1                         | ▼ | 17 | 0,316 |
| 15         | Ponte térmica plana zona de pilar e de talão de viga 2 Interior | 14        | Paredes Interiores            | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 1,21                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 1,2                   | PTPI 2                         | ▼ | 18 | 0,320 |
| 16         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Norte 1        | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,70                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,7                   | PTPe1                          | ▼ | 5  | 0,323 |
| 17         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Este 1         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 2,80                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 2,8                   | PTPe1                          | ▼ | 5  | 0,323 |
| 18         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Sul 1          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 5,50                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 5,5                   | PTPe1                          | ▼ | 5  | 0,323 |
| 19         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Norte 2        | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 1,30                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 1,3                   | PTPe2                          | ▼ | 6  | 0,328 |
| 20         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Este 3         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 1,30                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 1,3                   | PTPe3                          | ▼ | 7  | 0,314 |
| 21         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Oeste 3        | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 5,00                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 5,0                   | PTPe3                          | ▼ | 7  | 0,314 |
| 22         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Este 4         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 2,60                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 2,6                   | PTPe4                          | ▼ | 8  | 0,319 |
| 23         | Ponte térmicas plana pilares e vigas periféricas Sul 4          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,50                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,5                   | PTPe4                          | ▼ | 8  | 0,319 |
| 24         | Pavimento exterior 1                                            | 10        | Roof/Ceiling - Ambient        | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 2,03                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 2,0                   | LPE 1                          | ▼ | 9  | 0,219 |
| 25         | Pavimento exterior 2                                            | 10        | Roof/Ceiling - Ambient        | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 6,30                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 6,3                   | LPE 2                          | ▼ | 10 | 0,223 |
| 26         | Pavimento despvão sanitário 1                                   | 11        | Floor slab / basement ceiling | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 44,81                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 44,8                  | LPI 1                          | ▼ | 11 | 0,404 |
| 27         | Pavimento despvão sanitário 2                                   | 11        | Floor slab / basement ceiling | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 24,40                     | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 24,4                  | LPI 2                          | ▼ | 12 | 0,419 |
| 28         | Ponte térmicas plana cx. Estore Norte 1                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,67                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,7                   | Caixa de estore (Gesso-reb)    | ▼ | 19 | 0,249 |
| 29         | Ponte térmicas plana cx. Estore Norte 2                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,67                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,7                   | Caixa de estore (Cerâmica-reb) | ▼ | 20 | 0,251 |
| 30         | Ponte térmicas plana cx. Estore Sul 1                           | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 2,26                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 2,3                   | Caixa de estore (Gesso-reb)    | ▼ | 19 | 0,249 |
| 31         | Ponte térmicas plana cx. Estore Este 1                          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 1,10                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 1,1                   | Caixa de estore (Gesso-reb)    | ▼ | 19 | 0,249 |
| 32         | Ponte térmicas plana cx. Estore Este 3                          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,40                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,4                   | Caixa de estore (Gesso-fac)    | ▼ | 21 | 0,243 |
| 33         | Ponte térmicas plana cx. Estore Este 4                          | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,26                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,3                   | Caixa de estore (Cerâmica-fac) | ▼ | 22 | 0,245 |
| 34         | Ponte térmicas plana cx. Estore Oeste 3                         | 8         | Exterior Wall - Ambient       | 1                                          | x ( |          | x |          | + | 0,34                      | - |                            |   |                                     | ) - | 0,0          | =                                                              | 0,3                   | Caixa de estore (Gesso-fac)    | ▼ | 21 | 0,243 |

## Anexo B.6 (3/3) – Folha de cálculo “Areas”

| Additional inputs for radiation balance                                                                                                                                                                                                         |                     |                      |                                          |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------------|--------------------------|
| Exterior absorptivity                                                                                                                                                                                                                           | Exterior emissivity | Deviation from north | Angle of inclination from the horizontal | Reduction factor shading |
| These columns serve for considering the radiation balance of exterior, opaque surfaces.<br>Inputs only for those surfaces which are adjacent to ambient air!<br>For consideration of heating in Central European climates no input is required. |                     |                      |                                          |                          |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 0                    | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 180                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 0                    | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 270                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 270                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 180                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,80                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                |                      | 0                                        | 0,70                     |
| 0,80                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                |                      | 0                                        | 0,70                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                      |                                          |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                      |                                          |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                      |                                          |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                      |                                          |                          |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 0                    | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 180                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 0                    | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 270                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 180                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,80                                                                                                                                                                                                                                            | 0,15                |                      | 0                                        |                          |
| 0,80                                                                                                                                                                                                                                            | 0,15                |                      | 0                                        |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                      |                                          |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                      |                                          |                          |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 0                    | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 0                    | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 180                  | 90                                       | 0,70                     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 90                   | 90                                       | 0,70                     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                            | 0,90                | 270                  | 90                                       | 0,70                     |

## Anexo B.7 (1/1) – Folha de cálculo “Win Type”

## GLAZING ACCORDING TO CERTIFICATION

[Go to curtain wall facades / window frames from line 99 onwards](#)

| Assembly No. | Type                                                  | g-Value | U <sub>g</sub> -Value |
|--------------|-------------------------------------------------------|---------|-----------------------|
|              | Glazing                                               |         |                       |
|              |                                                       |         | W/(m²K)               |
| 1            | Envidraçado SG (Planitherm) – vidro duplo com gás árg | 0,66    | 1,30                  |

### Anexo B.8 (1/1) – Folha de cálculo “Windows”

REDUCTION FACTOR SOLAR RADIATION, WINDOW U-VALUE

|                                         |                                    |                           |      |                                      |                  |         |                                      |             |                |              |                          |                     |                            |
|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|------|--------------------------------------|------------------|---------|--------------------------------------|-------------|----------------|--------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|
| Building: Moradia Unifamiliar Aveiro    |                                    | Annual heating demand: 15 |      |                                      | kWh/(m²a)        |         | Heating degree hours:                |             |                |              |                          |                     |                            |
| Climate: PT-Aveiro                      |                                    |                           |      |                                      |                  |         |                                      |             |                |              |                          | 32,6                |                            |
| Window area orientation                 | Global radiation (cardinal points) | Shading                   | Dirt | Non-perpendicular incident radiation | Glazing fraction | g-Value | Reduction factor for solar radiation | Window area | Window U-Value | Glazing area | Average global radiation | Transmission losses | Heat gains solar radiation |
| maximum:                                | kWh/(m²a)                          | 0,75                      | 0,95 | 0,85                                 |                  |         |                                      | m²          | W/(m²K)        | m²           | kWh/(m²a)                | kWh/a               | kWh/a                      |
| North                                   | 74                                 | 0,77                      | 0,95 | 0,85                                 | 0,662            | 0,66    | 0,41                                 | 12,71       | 1,55           | 8,4          | 74                       | 642                 | 256                        |
| East                                    | 181                                | 0,32                      | 0,95 | 0,85                                 | 0,508            | 0,66    | 0,13                                 | 11,80       | 1,63           | 6,0          | 181                      | 628                 | 184                        |
| South                                   | 403                                | 0,83                      | 0,95 | 0,85                                 | 0,718            | 0,66    | 0,48                                 | 22,53       | 1,50           | 16,2         | 403                      | 1102                | 2875                       |
| West                                    | 183                                | 0,51                      | 0,95 | 0,85                                 | 0,394            | 0,66    | 0,16                                 | 1,01        | 1,75           | 0,4          | 183                      | 57                  | 20                         |
| Horizontal                              | 299                                | 1,00                      | 0,95 | 0,85                                 | 0,000            | 0,00    | 0,00                                 | 0,00        | 0,00           | 0,0          | 299                      | 0                   | 0                          |
| Total or Average Value for All Windows: |                                    |                           |      |                                      |                  | 0,66    | 0,37                                 | 48,05       | 1,55           | 31,0         |                          | 2429                | 3335                       |

[illegible]



Anexo B.9 (1/1) – Folha de cálculo “Shading”

CALCULATING SHADING FACTORS

Climate: **PT-Aveiro**

Building: **Morada Unifamiliar Aveiro**

Latitude: **40,6** °

| Orientation | Glazing area<br>m² | Reduction<br>factor<br>r <sub>s</sub> |
|-------------|--------------------|---------------------------------------|
| North       | 8,42               | 77%                                   |
| East        | 5,99               | 32%                                   |
| South       | 16,19              | 83%                                   |
| West        | 0,40               | 51%                                   |
| Horizontal  | 0,00               | 100%                                  |

| Quantity | Description   | Deviation from<br>North | Angle of<br>Inclination<br>from the<br>Horizontal | Orientation | Glazing width  | Glazing height | Glazing area   | Height of the<br>shading object | Horizontal<br>distance | Window reveal<br>depth | Distance from<br>glazing edge to<br>reveal | Overhang depth    | Distance from<br>upper glazing<br>edge to overhang | Additional<br>shading<br>reduction factor | Horizontal<br>shading reduction<br>factor | Reveal Shading<br>Reduction Factor | Overhang<br>shading reduction<br>factor | Total shading<br>reduction factor |
|----------|---------------|-------------------------|---------------------------------------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
|          |               | Degrees                 | Degrees                                           |             | m              | m              | A <sub>G</sub> | m                               | m                      | m                      | m                                          | m                 | m                                                  | %                                         | %                                         | %                                  | %                                       | %                                 |
|          |               |                         |                                                   |             | w <sub>G</sub> | h <sub>G</sub> |                | h <sub>Hori</sub>               | d <sub>Hori</sub>      | o <sub>Reveal</sub>    | d <sub>Reveal</sub>                        | o <sub>Over</sub> | d <sub>Over</sub>                                  | r <sub>Other</sub>                        | r <sub>U</sub>                            | r <sub>R</sub>                     | r <sub>O</sub>                          | r <sub>S</sub>                    |
| 2        | Janela Norte  | 0                       | 90                                                | North       | 1,15           | 1,85           | 4,2            | 3,00                            | 10,75                  | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 80%                                       | 92%                                | 85%                                     | 62%                               |
| 2        | Janela Norte  | 0                       | 90                                                | North       | 1,15           | 1,82           | 4,2            | 0,00                            | 0,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 100%                                      | 92%                                | 100%                                    | 92%                               |
| 1        | Janela Sul R/ | 180                     | 90                                                | South       | 1,50           | 1,78           | 2,7            | 0,00                            | 0,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 100%                                      | 94%                                | 87%                                     | 82%                               |
| 1        | Janela Sul R/ | 180                     | 90                                                | South       | 3,48           | 1,78           | 6,2            | 0,00                            | 0,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 100%                                      | 97%                                | 87%                                     | 85%                               |
| 1        | Janela Sul R/ | 180                     | 90                                                | South       | 0,76           | 1,78           | 1,4            | 0,00                            | 0,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 100%                                      | 90%                                | 87%                                     | 78%                               |
| 1        | Janela Sul 1º | 180                     | 90                                                | South       | 1,50           | 1,78           | 2,7            | 0,00                            | 0,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 100%                                      | 94%                                | 87%                                     | 82%                               |
| 1        | Janela Sul 1º | 180                     | 90                                                | South       | 1,84           | 1,78           | 3,3            | 0,00                            | 0,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 100%                                      | 95%                                | 87%                                     | 83%                               |
| 1        | Janela Este R | 90                      | 90                                                | East        | 1,58           | 1,46           | 2,3            | 9,50                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 38%                                       | 92%                                | 100%                                    | 35%                               |
| 1        | Janela Este R | 90                      | 90                                                | East        | 0,37           | 1,64           | 0,6            | 9,50                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,90              | 0,50                                               | 100%                                      | 38%                                       | 77%                                | 82%                                     | 24%                               |
| 1        | Janela Este R | 90                      | 90                                                | East        | 0,57           | 1,64           | 0,9            | 9,50                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 38%                                       | 82%                                | 100%                                    | 31%                               |
| 1        | Janela Este R | 90                      | 90                                                | East        | 0,37           | 1,64           | 0,6            | 9,50                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 38%                                       | 77%                                | 100%                                    | 29%                               |
| 2        | Janela Este 1 | 90                      | 90                                                | East        | 0,30           | 0,38           | 0,2            | 6,13                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 51%                                       | 74%                                | 100%                                    | 38%                               |
| 1        | Janela Este 1 | 90                      | 90                                                | East        | 0,47           | 1,64           | 0,8            | 8,10                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 42%                                       | 80%                                | 100%                                    | 34%                               |
| 1        | Janela Este 1 | 90                      | 90                                                | East        | 0,27           | 0,38           | 0,1            | 6,13                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 51%                                       | 73%                                | 100%                                    | 37%                               |
| 1        | Janela Este 1 | 90                      | 90                                                | East        | 1,18           | 0,38           | 0,5            | 6,13                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,40              | 0,00                                               | 100%                                      | 51%                                       | 89%                                | 56%                                     | 25%                               |
| 1        | Janela Oeste  | 270                     | 90                                                | West        | 1,27           | 0,31           | 0,4            | 4,90                            | 7,00                   | 0,20                   | 0,110                                      | 0,00              | 0,00                                               | 100%                                      | 57%                                       | 90%                                | 100%                                    | 51%                               |



## Anexo B.10 (1/1) – Folha de cálculo “Ventilation”

## VENTILATION DATA

Building: **Morada Unifamiliar Aveiro**

Treated floor area  $A_{TFA}$   $m^2$  **136** (Area worksheet)  
 Room height  $h$   $m$  **2,5** (Annual Heating Demand worksheet)  
 Room ventilation volume  $(A_{TFA} \cdot h) = V_V$   $m^3$  **340** (Annual Heating Demand worksheet)

**Type of ventilation system** Please Check  
☒ Balanced PH ventilation  
☐ Pure extract air

**Infiltration air change rate**

| Wind protection coefficients e and f |                       |                  |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Coefficient e for screening class    | Several sides exposed | One side exposed |
| No screening                         | 0.10                  | 0.03             |
| Moderate screening                   | 0.07                  | 0.02             |
| High screening                       | 0.04                  | 0.01             |
| Coefficient f                        | 15                    | 20               |

Wind protection coefficient, e **0,10** for Annual Demand **0,25** for Heating Load  
 Wind protection coefficient, f **15** for Annual Demand **15** for Heating Load  
 Air Change Rate at Press. Test  $n_{50}$  1/h **0,60** for Annual Demand **0,60** for Heating Load  
 Net Air Volume for Press. Test  $V_{50}$   $m^3$  **340**  
 Air permeability  $q_{50}$   $m^3/(h \cdot m^2)$  **0,62**

Excess extract air  $n_{V,Res}$  1/h **0,00** for Annual Demand **0,00** for Heating Load  
 Infiltration air change rate  $n_{V,Inf}$  1/h **0,060** for Annual Demand **0,150** for Heating Load

**Selection of ventilation data input - Results**

The PHPP offers two methods for dimensioning the air quantities and choosing the ventilation unit. Fresh air or extract air quantities for residential buildings and parameters for ventilation systems with a maximum of 1 ventilation unit can be determined using the standard planning option in the 'Ventilation' sheet. The 'Additional Vent' sheet has been created for more complex ventilation systems and allows up to 10 different ventilation units to be taken into account. Furthermore, air quantities can be determined on a room-by-room or zone-by-zone basis. Please select your design method here.

**Ventilation unit / Heat recovery efficiency design**  
☒ Sheet Ventilation (Standard design) (Sheet Ventilation see below)  
☐ Sheet Extended ventilation (Sheet Additional Vent)  
 (Multiple ventilation units, non-residential buildings)

| Mean Air exchange $m^3/h$ | Mean Air Change Rate $1/h$ | Extract air excess $1/h$ | Effective heat recovery efficiency Unit $[-]$ | Specific power input $Wh/m^3$ | Heat recovery efficiency SHX |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>139</b>                | <b>0,41</b>                | <b>0,00</b>              | <b>76,7%</b>                                  | <b>0,41</b>                   | <b>0,0%</b>                  |

SHX efficiency  $\eta_{SHX}$  **0%**

**STANDARD INPUT FOR BALANCED VENTILATION**

**Ventilation dimensioning for systems with one ventilation unit**

Occupancy  $m^3/p$  **35**  
 Number of occupants  $P$  **3,9**  
 Supply air per person  $m^3(p \cdot h)$  **30**  
 Supply air requirement  $m^3/h$  **117**  
 Extract air rooms  
 Quantity  
 Extract air requirement per room  $m^3/h$  **60**  
 Total Extract Air Requirement  $m^3/h$  **180**  
 Design air flow rate (maximum)  $m^3/h$  **180**

**Average air change rate calculation**

| Type of operation | Daily operation duration $h/d$ | Factors referenced to maximum | Air flow rate $m^3/h$ | Air change rate $1/h$ |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Maximum           |                                | 1,00                          | 180                   | 0,53                  |
| Standard          | <b>24,0</b>                    | 0,77                          | 139                   | 0,41                  |
| Basic             |                                | 0,54                          | 97                    | 0,29                  |
| Minimum           |                                | 0,40                          | 72                    | 0,21                  |
| Average value:    |                                | <b>0,77</b>                   | <b>139</b>            | <b>0,41</b>           |

**Selection of ventilation unit with heat recovery**

☒ Central unit within the thermal envelope.  
☐ Central unit outside of the thermal envelope.

Ventilation unit selection **ComfoAir flat 150 - Zehnder**

| Heat recovery efficiency $\eta_{HE,eff}$ | Specific power input $[Wh/m^3]$ | Application range $[m^3/h]$ | Frost protection required | Unit noise level $< 35dB(A)$ |
|------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>0,82</b>                              | <b>0,41</b>                     | <b>86 - 137</b>             | <b>yes</b>                | <b>no</b>                    |

Conductance value of outdoor air duct  $\Psi$   $W/(mK)$  **0,281** See calculation below  
 Length of outdoor air duct  $m$  **6,87**  
 Conductance value of exhaust air duct  $\Psi$   $W/(mK)$  **0,281** See calculation below  
 Length of exhaust air duct  $m$  **4,77**  
 Temperature of mechanical services room  $^{\circ}C$  **12**  
 (Enter only if the central unit is outside of the thermal envelope.)

Room Temperature ( $^{\circ}C$ ) **20**  
 Av. Ambient Temp. Heating P. ( $^{\circ}C$ ) **10,5**  
 Av. Ground Temp ( $^{\circ}C$ ) **16,6**

Effective heat recovery efficiency  $\eta_{HE,eff}$  **76,7%**

**Effective heat recovery efficiency subsoil heat exchanger**

SHX efficiency  $\eta_{SHX}$  **0%**  
 Heat recovery efficiency SHX  $\eta_{SHX}$  **0%**

**Secondary calculation**

**$\Psi$ -value supply or ambient air duct**

| Nominal width | Insul. Thickness | Thermal conductivity | Nominal air flow rate | $\Delta\theta$ | Exterior duct diameter | Exterior diameter | $\alpha$ -Interior      | $\alpha$ -Surface      | $\Psi$ -value         | Surface temperature difference |
|---------------|------------------|----------------------|-----------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <b>100</b> mm | <b>50</b> mm     | <b>0,04</b> $W/(mK)$ | <b>139</b> $m^3/h$    | <b>9</b> K     | <b>0,100</b> m         | <b>0,200</b> m    | <b>21,78</b> $W/(m^2K)$ | <b>2,43</b> $W/(m^2K)$ | <b>0,281</b> $W/(mK)$ | <b>1,745</b> K                 |

**Secondary calculation**

**$\Psi$ -value extract or exhaust air duct**

| Nominal width | Insul. Thickness | Thermal conductivity | Nominal air flow rate | $\Delta\theta$ | Exterior duct diameter | Exterior diameter | $\alpha$ -Interior      | $\alpha$ -Surface      | $\Psi$ -value         | Surface temperature difference |
|---------------|------------------|----------------------|-----------------------|----------------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <b>100</b> mm | <b>50</b> mm     | <b>0,04</b> $W/(mK)$ | <b>139</b> $m^3/h$    | <b>9</b> K     | <b>0,100</b> m         | <b>0,200</b> m    | <b>21,78</b> $W/(m^2K)$ | <b>2,43</b> $W/(m^2K)$ | <b>0,281</b> $W/(mK)$ | <b>1,745</b> K                 |



Anexo B.11 (1/1) – Folha de cálculo “Annual Heat Demand”

Passive House verification

SPECIFIC ANNUAL HEATING DEMAND

|                                      |  |                                                |  |
|--------------------------------------|--|------------------------------------------------|--|
| Climate: PT-Aveiro                   |  | Interior Temperature: 20,0 °C                  |  |
| Building: Moradia Unifamiliar Aveiro |  | Building Type/Use: Moradia Unifamiliar Ave     |  |
|                                      |  | Treated Floor Area A <sub>TFA</sub> : 136,0 m² |  |

| Building Element                     | Temperature Zone | Area m² | U-Value W/(m²K) | Temp. Factor f <sub>t</sub> | G <sub>t</sub> kWh/a | kWh/a | per m² Treated Floor Area |
|--------------------------------------|------------------|---------|-----------------|-----------------------------|----------------------|-------|---------------------------|
| Exterior Wall - Ambient              | A                | 118,6   | 0,270           | 1,00                        | 32,6                 | 1042  | 7,66                      |
| Exterior Wall - Ground               | B                |         |                 | 0,63                        |                      |       |                           |
| Roof/Ceiling - Ambient               | A                | 78,0    | 0,211           | 1,00                        | 32,6                 | 536   | 3,94                      |
| Floor slab / basement ceiling        | B                | 69,2    | 0,409           | 0,63                        | 32,6                 | 580   | 4,26                      |
|                                      | A                |         |                 | 1,00                        |                      |       |                           |
|                                      | A                |         |                 | 1,00                        |                      |       |                           |
| Paredes Interiores                   | X                | 15,5    | 0,267           | 0,92                        | 32,6                 | 124   | 0,91                      |
| Windows                              | A                | 48,1    | 1,553           | 1,00                        | 32,6                 | 2429  | 17,86                     |
| Exterior Door                        | A                |         |                 | 1,00                        |                      |       |                           |
| Exterior TB (length/m)               | A                | 235,1   | 0,081           | 1,00                        | 32,6                 | 619   | 4,55                      |
| Perimeter TB (length/m)              | P                |         |                 | 0,63                        |                      |       | 0,00                      |
| Ground TB (length/m)                 | B                |         |                 | 0,63                        |                      |       |                           |
| Total of All Building Envelope Areas |                  | 329,3   |                 |                             |                      |       |                           |

**Transmission Heat Losses Q<sub>T</sub>**

Total: 5330 kWh/a, 39,2 kWh/(m²a)

**Ventilation System:**

Effective Heat Recovery Efficiency η<sub>eff</sub>: 77%

Efficiency of Heat Recovery η<sub>SH-X</sub>: 0%

Effective Air Volume, V<sub>V</sub>: 340 m³/h

Clear Room Height: 2,50 m

Clear Room Volume: 340,0 m³

Energy Effective Air Exchange n<sub>V</sub>: 0,408 1/h

Φ<sub>HR</sub>: 0,77

n<sub>V,Res</sub>: 0,060 1/h

Result: 0,155 1/h

**Ventilation Heat Losses Q<sub>V</sub>**

340 m³/h \* 0,155 1/h \* 0,33 kWh/(m³K) \* 32,6 kWh/a = 566 kWh/a, 4,2 kWh/(m²a)

**Total Heat Losses Q<sub>L</sub>**

Q<sub>T</sub> (5330 kWh/a) + Q<sub>V</sub> (566 kWh/a) \* Reduction Factor (1,0) = 5895 kWh/a, 43,3 kWh/(m²a)

| Orientation of the Area | Reduction Factor | g-Value (perp. radiation) | Area m² | Radiation HP kWh/(m²a) | kWh/a | kWh/(m²a) |
|-------------------------|------------------|---------------------------|---------|------------------------|-------|-----------|
| 1. North                | 0,41             | 0,66                      | 12,71   | 74                     | 256   |           |
| 2. East                 | 0,13             | 0,66                      | 11,80   | 181                    | 184   |           |
| 3. South                | 0,48             | 0,66                      | 22,53   | 403                    | 2875  |           |
| 4. West                 | 0,16             | 0,66                      | 1,01    | 183                    | 20    |           |
| 5. Horizontal           | 0,00             | 0,00                      | 0,00    | 299                    | 0     |           |
| Total                   |                  |                           |         |                        | 3335  | 24,5      |

**Available Solar Heat Gains Q<sub>S</sub>**

**Internal Heat Gains Q<sub>I</sub>**

Length Heat. Period d/a: 126

Spec. Power q<sub>i</sub> W/m²: 2,10

A<sub>TFA</sub> m²: 136,0

Result: 865 kWh/a, 6,4 kWh/(m²a)

Free Heat Q<sub>F</sub>: 4200 kWh/a, 30,9 kWh/(m²a)

Ratio of Free Heat to Losses Q<sub>F</sub> / Q<sub>L</sub>: 0,71

Utilisation Factor Heat Gains η<sub>g</sub>: 94%

**Heat Gains Q<sub>G</sub>**

η<sub>g</sub> \* Q<sub>F</sub>: 3945 kWh/a, 29,0 kWh/(m²a)

**Annual Heating Demand Q<sub>H</sub>**

Q<sub>L</sub> - Q<sub>G</sub>: 1950 kWh/a, 14 kWh/(m²a)

Limiting Value: 15 kWh/(m²a)

Requirement met? **yes**

## Anexo B.12 (1/1) – Folha de cálculo “Monthly Method”

SPECIFIC ANNUAL HEATING DEMAND  
MONTHLY METHOD

(This page displays the sums of the monthly method over the heating period)

Climate: **PT-Aveiro** Interior Temperature: **20** °C  
 Building: **Moradia Unifamiliar Aveiro** Building Type/Use: **Moradia Unifamiliar Aveiro**  
 Spec. Capacity: **60** Wh/(m²K) (Enter in "Summer" worksheet.) Treated Floor Area A<sub>TFA</sub>: **136,0** m²

| Building Element              | Temperature Zone | Area m² | U-Value W/(m²K) | Month. Red. Fac. | G <sub>i</sub> kWh/a | kWh/a | per m² Treated Floor Area |
|-------------------------------|------------------|---------|-----------------|------------------|----------------------|-------|---------------------------|
| Exterior Wall - Ambient       | A                | 118,6   | 0,270           | 1,00             | 46                   | 1475  |                           |
| Exterior Wall - Ground        | B                |         |                 | 1,00             |                      |       |                           |
| Roof/Ceiling - Ambient        | A                | 78,0    | 0,211           | 1,00             | 46                   | 759   |                           |
| Floor slab / basement ceiling | B                | 69,2    | 0,409           | 1,00             | 29                   | 815   |                           |
|                               | A                |         |                 | 1,00             |                      |       |                           |
|                               | A                |         |                 | 1,00             |                      |       |                           |
| Paredes Interiores            | X                | 15,5    | 0,267           | 0,92             | 46                   | 175   |                           |
| Windows                       | A                | 48,1    | 1,553           | 1,00             | 46                   | 3438  |                           |
| Exterior Door                 | A                |         |                 | 1,00             |                      |       |                           |
| Exterior TB (length/m)        | A                | 235,1   | 0,081           | 1,00             | 46                   | 876   |                           |
| Perimeter TB (length/m)       | P                |         |                 | 1,00             |                      |       |                           |
| Ground TB (length/m)          | B                |         |                 | 1,00             |                      |       |                           |

**Transmission Heat Losses Q<sub>T</sub>** Total **7538** kWh/(m²a) **55,4**

Effective Air Volume V<sub>RAX</sub> **136** m³ Clear Room Height **2,50** m **340** m³

Effective Air Change Rate Ambient n<sub>va</sub> **0,408** 1/h Effective Air Change Rate Ground n<sub>vg</sub> **0,408** 1/h

**Ventilation Losses Ambient Q<sub>V</sub>** **340** m³ **0,155** 1/h **0,33** W/(m²K) **46** kWh/a **801** kWh/a **5,9** kWh/(m²a)

**Ventilation Losses Ground Q<sub>V,e</sub>** **340** m³ **0,000** 1/h **0,33** W/(m²K) **20** kWh/a **0** kWh/a **0,0** kWh/(m²a)

**Ventilation Heat Losses Q<sub>V</sub>** Total **801** kWh/a **5,9** kWh/(m²a)

**Total Heat Losses Q<sub>L</sub>** ( **7538** + **801** ) **8339** kWh/a **61,3** kWh/(m²a)

Orientation of the Area Reduction Factor See Windows worksheet g-Value (perp. radiation) Area m² Global Radiation kWh/(m²a)

|                  |      |      |      |     |      |
|------------------|------|------|------|-----|------|
| North            | 0,41 | 0,66 | 12,7 | 200 | 688  |
| East             | 0,13 | 0,66 | 11,8 | 491 | 499  |
| South            | 0,48 | 0,66 | 22,5 | 853 | 6087 |
| West             | 0,16 | 0,66 | 1,0  | 494 | 54   |
| Horizontal       | 0,00 | 0,00 | 0,0  | 855 | 0    |
| Sum Opaque Areas |      |      |      |     | 320  |

**Available Solar Heat Gains Q<sub>S</sub>** Total **7648** kWh/(m²a) **56,2** kWh/(m²a)

Length Heat. Period d/a Spec. Power q<sub>i</sub> W/m² A<sub>TFA</sub> m²

**Internal Heat Gains Q<sub>I</sub>** **0,024** **243** **2,1** **136,0** **1666** kWh/a **12,2** kWh/(m²a)

Free Heat Q<sub>F</sub> Q<sub>S</sub> + Q<sub>I</sub> = **9314** kWh/a **68,5** kWh/(m²a)

Ratio Free Heat to Losses Q<sub>F</sub> / Q<sub>L</sub> = **1,12**

Utilisation Factor Heat Gains η<sub>G</sub> = **68%**

**Heat Gains Q<sub>G</sub>** η<sub>G</sub> \* Q<sub>F</sub> = **6306** kWh/a **46,4** kWh/(m²a)

**Annual Heating Demand QH** Q<sub>L</sub> - Q<sub>G</sub> = **2033** kWh/a **15** kWh/(m²a)

Limiting Value **15** kWh/(m²a) Requirement met? **yes**

## Anexo B.13 (1/1) – Folha de cálculo “Heating Load”

# SPECIFIC SPACE HEATING LOAD

Building: **Moradia Unifamiliar Aveiro**  
Climate (HL): **PT-Aveiro**

Building Type/Use: **Moradia Unifamiliar Aveiro**  
Treated Floor Area A<sub>TFA</sub>: **136,0** m<sup>2</sup> Interior Temperature: **20** °C

Design Temperature  
Weather Condition 1: **6,0** °C  
Weather Condition 2: **10,7** °C  
Ground Design Temp: **11,0** °C

Radiation: North East South West Horizontal  
**20 59 167 59 94** W/m<sup>2</sup>  
**15 24 49 24 44** W/m<sup>2</sup>

| Building Element                 | Temperature Zone | Area m <sup>2</sup> | U-Value W/(m <sup>2</sup> K) | Factor Always 1 (except "X") | TempDiff 1 K | TempDiff 2 K | P <sub>T</sub> 1 W | P <sub>T</sub> 2 W |
|----------------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|
| 1. Exterior Wall - Ambient       | A                | 118,6               | 0,270                        | 1,00                         | 14,0         | 9,3          | 448                | 298                |
| 2. Exterior Wall - Ground        | B                |                     |                              | 1,00                         | 9,0          | 9,0          |                    |                    |
| 3. Roof/Ceiling - Ambient        | A                | 78,0                | 0,211                        | 1,00                         | 14,0         | 9,3          | 231                | 153                |
| 4. Floor slab / basement ceiling | B                | 69,2                | 0,409                        | 1,00                         | 9,0          | 9,0          | 253                | 253                |
| 5.                               | A                |                     |                              | 1,00                         | 14,0         | 9,3          |                    |                    |
| 6.                               | A                |                     |                              | 1,00                         | 14,0         | 9,3          |                    |                    |
| 7. Paredes Interiores            | X                | 15,5                | 0,267                        | 0,92                         | 14,0         | 9,3          | 53                 | 35                 |
| 8. Windows                       | A                | 48,1                | 1,553                        | 1,00                         | 14,0         | 9,3          | 1045               | 694                |
| 9. Exterior Door                 | A                |                     |                              | 1,00                         | 14,0         | 9,3          |                    |                    |
| 10. Exterior TB (length/m)       | A                | 235,1               | 0,081                        | 1,00                         | 14,0         | 9,3          | 266                | 177                |
| 11. Perimeter TB (length/m)      | P                |                     |                              | 1,00                         | 9,0          | 9,0          |                    |                    |
| 12. Ground TB (length/m)         | B                |                     |                              | 1,00                         | 9,0          | 9,0          |                    |                    |
| 13. House/DU Partition Wall      | I                |                     |                              | 1,00                         | 3,0          | 3,0          |                    |                    |

**Transmission Heat Losses P<sub>T</sub>**  
Total = **2296** or **1610**

Ventilation System:  
Effective Air Volume, V<sub>V</sub> **136,0** m<sup>3</sup> \* Clear Room Height **2,50** m = **340** m<sup>3</sup>

Efficiency of Heat Recovery of the Heat Exchanger **77%** Heat Recovery Efficiency SHX **0%** Efficiency SHX **0%**

Energetically Effective Air Exchange n<sub>v</sub> **0,150** 1/h + **0,408** 1/h \* (1 - **0,77**) or **0,77** ) = **0,245** 1/h or **0,245** 1/h

**Ventilation Heating Load P<sub>V</sub>**  
V<sub>L</sub> **340,0** m<sup>3</sup> \* n<sub>L</sub> **0,245** 1/h or **0,245** 1/h \* c<sub>Air</sub> **0,33** Wh/(m<sup>3</sup>K) \* TempDiff 1 **14,0** K or TempDiff 2 **9,3** K = **385** W or **256** W

**Total Heating Load P<sub>L</sub>**  
P<sub>T</sub> + P<sub>V</sub> = **2681** or **1866**

| Orientation the Area | Area m <sup>2</sup> | g-Value (perp. radiation) | Reduction Factor (see Windows worksheet) | Radiation 1 W/m <sup>2</sup> | Radiation 2 W/m <sup>2</sup> | P <sub>S</sub> 1 W | P <sub>S</sub> 2 W |
|----------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1. North             | 12,7                | 0,7                       | 0,4                                      | 20                           | 15                           | 69                 | 52                 |
| 2. East              | 11,8                | 0,7                       | 0,1                                      | 59                           | 24                           | 60                 | 24                 |
| 3. South             | 22,5                | 0,7                       | 0,5                                      | 167                          | 49                           | 1192               | 350                |
| 4. West              | 1,0                 | 0,7                       | 0,2                                      | 59                           | 24                           | 6                  | 3                  |
| 5. Horizontal        | 0,0                 | 0,0                       | 0,4                                      | 94                           | 44                           | 0                  | 0                  |

**Solar heating power P<sub>S</sub>**  
Total = **1327** or **428**

Spec. Power W/m<sup>2</sup> **1,6** \* A<sub>TFA</sub> **136** m<sup>2</sup> = **218** W or **218** W

**Internal heating power P<sub>I</sub>**  
P<sub>G</sub> 1 W **1545** or P<sub>G</sub> 2 W **646**

**Heating power (gains) P<sub>G</sub>**  
P<sub>S</sub> + P<sub>I</sub> = **1545** or **646**  
P<sub>L</sub> - P<sub>G</sub> = **1136** or **1220**

**Heating Load P<sub>H</sub>**  
= **1220** W

**Specific Heating Load P<sub>H</sub> / A<sub>TFA</sub>**  
= **9,0** W/m<sup>2</sup>

Input Max. Supply Air Temperature **52** °C  
Max. Supply Air Temperature θ<sub>Supply,Max</sub> **52** °C

Supply Air Temperature Without Heating θ<sub>Supply,Min</sub> **16,7** °C or **17,8** °C

**For Comparison: Heating Load Transportable by Supply Air. P<sub>Supply Air,Max</sub>**  
= **1563** W specific: **11,5** W/m<sup>2</sup>  
Supply Air Heating Sufficient? **Yes**

Anexo B.14 (1/1) – Folha de cálculo “Shading-S”

Climate:PT-Aveiro

Building:Moradia Unifamiliar Aveiro

Latitude:40,6

Summer

| Orientation | Glazing area | Summer shading factor |
|-------------|--------------|-----------------------|
|             | m²           | f <sub>s</sub>        |
| North       | 8,42         | 37%                   |
| East        | 5,99         | 20%                   |
| South       | 16,19        | 27%                   |
| West        | 0,40         | 29%                   |
| Horizontal  | 0,00         | 100%                  |

Results from the Summer worksheet:  
Frequency of Overheating h<sub>9 ≥ 9max</sub>7,0%

| Quantity | Description:     | Input Field          |                                          |             |                |                |                |                              |                     |                     |                                      |                |                                              |                                              |                                                 | Summer                              |                                 |                                   |                | Total Summer Shading Reduction Factor |
|----------|------------------|----------------------|------------------------------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
|          |                  | Deviation from North | Angle of Inclination from the Horizontal | Orientation | Glazing Width  | Glazing Height | Glazing Area   | Height of the Shading Object | Horizontal Distance | Window Reveal Depth | Distance from Glazing Edge to Reveal | Overhang Depth | Distance from Upper Glazing Edge to Overhang | Additional Shading Reduction Factor (Summer) | Reduction factor z for temporary sun protection | Horizontal Shading Reduction Factor | Reveal Shading Reduction Factor | Overhang Shading Reduction Factor |                |                                       |
|          |                  | Degrees              | Degrees                                  |             | W <sub>g</sub> | h <sub>g</sub> | A <sub>g</sub> | m                            | m                   | m                   | m                                    | m              | m                                            | %                                            | %                                               | %                                   | %                               | %                                 |                |                                       |
|          |                  |                      |                                          |             |                | m              |                |                              |                     |                     |                                      |                |                                              |                                              | z                                               | f <sub>sh</sub>                     | f <sub>re</sub>                 | f <sub>o</sub>                    | f <sub>s</sub> |                                       |
| 2        | Janela Norte R/c | 0                    | 90                                       | North       | 1,15           | 1,85           | 4,2            | 3,00                         | 10,75               | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 81%                                 | 91%                             | 88%                               | 31%            |                                       |
| 2        | Janela Norte 1ºA | 0                    | 90                                       | North       | 1,15           | 1,82           | 4,2            | 0,00                         | 0,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 100%                                | 91%                             | 100%                              | 43%            |                                       |
| 1        | Janela Sul R/c   | 180                  | 90                                       | South       | 1,50           | 1,78           | 2,7            | 0,00                         | 0,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 100%                                | 93%                             | 62%                               | 27%            |                                       |
| 1        | Janela Sul R/c   | 180                  | 90                                       | South       | 3,48           | 1,78           | 6,2            | 0,00                         | 0,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 100%                                | 96%                             | 62%                               | 28%            |                                       |
| 1        | Janela Sul R/c   | 180                  | 90                                       | South       | 0,76           | 1,78           | 1,4            | 0,00                         | 0,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 100%                                | 87%                             | 62%                               | 25%            |                                       |
| 1        | Janela Sul 1ºA   | 180                  | 90                                       | South       | 1,50           | 1,78           | 2,7            | 0,00                         | 0,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 100%                                | 93%                             | 62%                               | 27%            |                                       |
| 1        | Janela Sul 1ºA   | 180                  | 90                                       | South       | 1,84           | 1,78           | 3,3            | 0,00                         | 0,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 100%                                | 94%                             | 62%                               | 27%            |                                       |
| 1        | Janela Este R/c  | 90                   | 90                                       | East        | 1,58           | 1,46           | 2,3            | 9,50                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 45%                                 | 97%                             | 100%                              | 21%            |                                       |
| 1        | Janela Este R/c  | 90                   | 90                                       | East        | 0,37           | 1,64           | 0,6            | 9,50                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,90           | 0,50                                         | 100%                                         | 47%                                             | 45%                                 | 91%                             | 85%                               | 16%            |                                       |
| 1        | Janela Este R/c  | 90                   | 90                                       | East        | 0,57           | 1,64           | 0,9            | 9,50                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 45%                                 | 93%                             | 100%                              | 20%            |                                       |
| 1        | Janela Este R/c  | 90                   | 90                                       | East        | 0,37           | 1,64           | 0,6            | 9,50                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 45%                                 | 91%                             | 100%                              | 19%            |                                       |
| 2        | Janela Este 1ºA  | 90                   | 90                                       | East        | 0,30           | 0,38           | 0,2            | 6,13                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 58%                                 | 90%                             | 100%                              | 24%            |                                       |
| 1        | Janela Este 1ºA  | 90                   | 90                                       | East        | 0,47           | 1,64           | 0,8            | 8,10                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 50%                                 | 93%                             | 100%                              | 22%            |                                       |
| 1        | Janela Este 1ºA  | 90                   | 90                                       | East        | 0,27           | 0,38           | 0,1            | 6,13                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 58%                                 | 90%                             | 100%                              | 24%            |                                       |
| 1        | Janela Este 1ºA  | 90                   | 90                                       | East        | 1,18           | 0,38           | 0,5            | 6,13                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,40           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 58%                                 | 96%                             | 50%                               | 13%            |                                       |
| 1        | Janela Oeste 1ºA | 270                  | 90                                       | West        | 1,27           | 0,31           | 0,4            | 4,90                         | 7,00                | 0,20                | 0,11                                 | 0,00           | 0,00                                         | 100%                                         | 47%                                             | 64%                                 | 96%                             | 100%                              | 29%            |                                       |

## Anexo B.15 (1/1) – Folha de cálculo “SummVent”

## SUMMER VENTILATION

Building: Moradia Unifamiliar Aveiro

Building Type/Use: Moradia Unifamiliar Aveiro

Building Volume 340 m³

| Description                  | Dia R/chão | Dia 1º Andar | Noite |  |  |  |
|------------------------------|------------|--------------|-------|--|--|--|
| Fraction of Opening Duration | 13%        | 50%          | 50%   |  |  |  |

| Climate Boundary Conditions          |   |   |   |  |  |     |
|--------------------------------------|---|---|---|--|--|-----|
| Temperature Diff Interior - Exterior | 4 | 4 | 1 |  |  | K   |
| Wind Velocity                        | 1 | 1 | 0 |  |  | m/s |

Note: for summer night ventilation please set a temperature difference of 1 K and a wind velocity of 0 m/s otherwise the cooling effects of the night ventilation will be overestimated!

| Window Group 1                      |       |       |       |  |  |   |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--|--|---|
| Quantity                            | 3     | 4     | 7     |  |  |   |
| Clear Width                         | 2,60  | 2,60  | 2,60  |  |  | m |
| Clear Height                        | 2,10  | 2,10  | 2,10  |  |  | m |
| Tilting Windows?                    | x     | x     | x     |  |  |   |
| Opening Width (for tilting windows) | 0,050 | 0,050 | 0,050 |  |  | m |

| Window Group 2 (Cross Ventilation)  |  |  |       |  |  |   |
|-------------------------------------|--|--|-------|--|--|---|
| Quantity                            |  |  | 7     |  |  |   |
| Clear Width                         |  |  | 2,60  |  |  | m |
| Clear Height                        |  |  | 2,10  |  |  | m |
| Tilting Windows?                    |  |  | x     |  |  |   |
| Opening Width (for Tilting Windows) |  |  | 0,050 |  |  | m |
| Difference in Height to Window 1    |  |  | 0,00  |  |  | m |

|                                             |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Single-Sided Ventilation 1 - Airflow Volume | 170  | 227  | 192  | 0    | 0    | 0    | m³/h |
| Single-Sided Ventilation 2 - Airflow Volume | 0    | 0    | 192  | 0    | 0    | 0    | m³/h |
| Cross Ventilation Airflow Volume            | 170  | 227  | 383  | 0    | 0    | 0    | m³/h |
| Contribution to Air Change Rate             | 0,06 | 0,33 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1/h  |

## Summary of Summer Ventilation Distribution

| Description Ventilation Type | Daily Average Air Change Rate |     |
|------------------------------|-------------------------------|-----|
| Ventilação Noite             | 0,56                          | 1/h |
| Ventilação Dia               | 0,40                          | 1/h |
|                              |                               | 1/h |

Anexo B.16 (1/1) – Folha de cálculo “Summer”

S U M M E R

|                    |                            |                 |                                       |                            |  |
|--------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|--|
| Climate:           | PT-Aveiro                  |                 | Interior Temperature:                 | 20 °C                      |  |
| Building:          | Moradia Unifamiliar Aveiro |                 | Building Type/Use:                    | Moradia Unifamiliar Aveiro |  |
| Spec. Capacity:    | 60                         | Wh/K pro m² TFA | Treated Floor Area A <sub>TFA</sub> : | 136,0 m²                   |  |
| Overheating limit: | 25                         | °C              |                                       |                            |  |

| Building Element        | Temperature Zone | Area m² | U-Value W/(m²K) | Red. Factor f <sub>r,Summer</sub> | H <sub>Summer</sub> Heat Conductance |
|-------------------------|------------------|---------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Exterior Wall - Ambient | A                | 118,6   | 0,270           | 1,00                              | 32,0                                 |
| Exterior Wall - Ground  | B                |         |                 | 1,00                              |                                      |
| Roof/Ceiling - Ambient  | A                | 78,0    | 0,211           | 1,00                              | 16,5                                 |
| Floor slab / basement   | B                | 69,2    | 0,409           | 1,00                              | 28,3                                 |
|                         | A                |         |                 | 1,00                              |                                      |
|                         | A                |         |                 | 1,00                              |                                      |
| Paredes Interiores      | X                | 15,5    | 0,267           | 0,92                              | 3,8                                  |
| Windows                 | A                | 48,1    | 1,553           | 1,00                              | 74,6                                 |
| Exterior Door           | A                |         |                 | 1,00                              |                                      |
| Exterior TB (length/m)  | A                | 235,1   | 0,081           | 1,00                              | 19,0                                 |
| Perimeter TB (length/m) | P                |         |                 | 1,00                              |                                      |
| Ground TB (length/m)    | B                |         |                 | 1,00                              |                                      |

|                                                  |       |     |
|--------------------------------------------------|-------|-----|
| Exterior Thermal Transmittance, H <sub>T,e</sub> | 145,9 | W/K |
| Ground Thermal Transmittance, H <sub>T,g</sub>   | 28,3  | W/K |

|                     |                       |                                     |                             |                            |          |
|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------|
| Recovery Efficiency | η <sub>HR</sub> = 77% | Effective Air Volume V <sub>e</sub> | A <sub>TFA</sub> = 136,0 m² | Clear Room Height = 2,50 m | = 340 m³ |
| Efficiency          | η <sub>SHX</sub> = 0% |                                     |                             |                            |          |

**Summer Ventilation** continuous ventilation to provide sufficient indoor air quality

Air Change Rate by Natural (Windows & Leakages) or Exhaust-Only Mechanical Ventilation, Summer: 0,40 1/h

Mechanical Ventilation Summer: 0,41 1/h with HR (check if applicable)

|                                                       |       |   |       |   |             |   |       |   |       |     |
|-------------------------------------------------------|-------|---|-------|---|-------------|---|-------|---|-------|-----|
| Energetically Effective Airchange Rate n <sub>v</sub> | 0,400 | + | 0,410 | * | (1 - 0,000) | + | 0,000 | = | 0,810 | 1/h |
|-------------------------------------------------------|-------|---|-------|---|-------------|---|-------|---|-------|-----|

|                                            |     |   |       |   |      |   |      |     |
|--------------------------------------------|-----|---|-------|---|------|---|------|-----|
| ntilation Transm. Ambient H <sub>v,e</sub> | 340 | * | 0,810 | * | 0,33 | = | 90,9 | W/K |
| ntilation Transm. Ground H <sub>v,g</sub>  | 340 | * | 0,000 | * | 0,33 | = | 0,0  | W/K |

**ditional Summer Ventilation for Cooling** Temperature amplitude summer 11,1 K

Select: ☒ Window Night Ventilation, Manual ☐ Mechanical, Automatically Controlled Ventilation

Corresponding Air Change Rate 0,56 1/h (for window ventilation: at 1 K temperature difference indoor - outdoor)

Minimum Acceptable Indoor Temperature 22,0 °C

| Orientation of the Area | Angle Factor Summer | Shading Factor Summer | Dirt | g-Value (perp. radiation) | Area m² | Portion of Glazing | Aperture m² |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|------|---------------------------|---------|--------------------|-------------|
| North                   | 0,9                 | 0,37                  | 0,95 | 0,66                      | 12,7    | 66%                | 1,7         |
| East                    | 0,9                 | 0,20                  | 0,95 | 0,66                      | 11,8    | 51%                | 0,7         |
| South                   | 0,9                 | 0,27                  | 0,95 | 0,66                      | 22,5    | 72%                | 2,5         |
| West                    | 0,9                 | 0,29                  | 0,95 | 0,66                      | 1,0     | 39%                | 0,1         |
| Horizontal              | 0,9                 | 1,00                  | 0,95 | 0,00                      | 0,0     | 0%                 | 0,0         |
| Sum Opaque Areas        |                     |                       |      |                           |         |                    | 1,1         |
| Total                   |                     |                       |      |                           |         |                    | 6,1         |

Total 6,1 m²/m² 0,04

|                                 |      |      |                           |   |     |   |     |      |
|---------------------------------|------|------|---------------------------|---|-----|---|-----|------|
| ernal Heat Gains Q <sub>i</sub> | 2,10 | W/m² | A <sub>TFA</sub> = 136 m² | = | 286 | W | 2,1 | W/m² |
|---------------------------------|------|------|---------------------------|---|-----|---|-----|------|

|                                                                                                                   |      |                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------|
| Frequency of Overheating h <sub>g</sub> ≥ g <sub>max</sub>                                                        | 7,0% | at the overheating limit g <sub>max</sub> = 25 °C |
| If the "frequency over 25°C" exceeds 10%, additional measures to protect against summer heat waves are necessary. |      |                                                   |

|                                           |      |       |     |      |     |    |          |   |     |    |     |     |   |
|-------------------------------------------|------|-------|-----|------|-----|----|----------|---|-----|----|-----|-----|---|
| Daily Temperature Swing due to Solar Load | 22,7 | KWh/d | 1/k | 1000 | / ( | 60 | Wh/(m²K) | * | 136 | m² | ) = | 2,8 | K |
|-------------------------------------------|------|-------|-----|------|-----|----|----------|---|-----|----|-----|-----|---|

Anexo B.17 (1/1) – Folha de cálculo “Cooling”

SPECIFIC USEFUL COOLING DEMAND  
MONTHLY METHOD

(This page displays the sums of the monthly method over the cooling period)

Climate: **PT-Aveiro** Interior Temperature Summer: **25** °C  
 Building: **Morada Unifamiliar Aveiro** Building Type/Use: **Morada Unifamiliar Aveiro**  
 Spec. Capacity: **60** Wh/(m²K) (Enter in Summer worksheet.) Treated Floor Area A<sub>TFA</sub>: **136,0** m²

| Building Element                | Temperature Zone | Area m² | U-Value W/(m²K) | Mon. Red. Fac. | G <sub>i</sub> kWh/a | per m² Treated Floor Area |
|---------------------------------|------------------|---------|-----------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| 1 Exterior Wall - Ambient       | A                | 118,6   | 0,270           | 1,00           | 84                   | 2696                      |
| 2 Exterior Wall - Ground        | B                |         |                 | 1,00           |                      |                           |
| 3 Roof/Ceiling - Ambient        | A                | 78,0    | 0,211           | 1,00           | 84                   | 1387                      |
| 4 Floor slab / basement ceiling | B                | 69,2    | 0,409           | 1,00           | 64                   | 1823                      |
| 5                               | A                |         |                 | 1,00           |                      |                           |
| 6                               | A                |         |                 | 1,00           |                      |                           |
| 7 Paredes Interiores            | X                | 15,5    | 0,267           | 0,92           | 84                   | 320                       |
| 8 Windows                       | A                | 48,1    | 1,553           | 1,00           | 84                   | 6284                      |
| 9 Exterior Door                 | A                |         |                 | 1,00           |                      |                           |
| 10 Exterior TB (length/m)       | A                | 235,1   | 0,081           | 1,00           | 84                   | 1601                      |
| 11 Perimeter TB (length/m)      | P                |         |                 | 1,00           |                      |                           |
| 12 Ground TB (length/m)         | B                |         |                 | 1,00           |                      |                           |

**Transmission Losses Q<sub>T</sub> (Negative: Heat Loads)** Total: **14111** kWh/a, **103,8** kWh/(m²a)

Effective Air Volume V<sub>v</sub>: **136** m³ \* **2,50** m = **340** m³

Heat Transfer Coef. W/K: **90,9** \* **84** kWh/a = **7654** kWh/a, **56,3** kWh/(m²a)  
 Ground: **0,0** \* **73** kWh/a = **0** kWh/a, **0,0** kWh/(m²a)

Additional Summer Ventilation  
 Select: ☒ Window Night Ventilation, Manual  
☐ Mechanical, Automatically Controlled Ventilation

Corresponding Air Change Rate: **0,56** 1/h  
 (for window ventilation: at 1 K temperature difference indoor - outdoor)  
 Minimum Acceptable Indoor Temperature: **22,0** °C

**Heat Losses Summer Ventilation** **101** kWh/a, **0,7** kWh/(m²a)

**Ventilation Heat Losses Q<sub>V</sub>** **7654** kWh/a + **0** kWh/a + **101** kWh/a = **7755** kWh/a, **57,0** kWh/(m²a)

**Total Heat Losses Q<sub>L</sub>** **14111** kWh/a + **7755** kWh/a = **21866** kWh/a, **160,8** kWh/(m²a)

| Orientation of the Area | Reduction Factor | g-Value (perp. radiation) | Area m² | Global Radiation kWh/(m²a) | Q <sub>S</sub> kWh/a | Q <sub>S</sub> kWh/(m²a) |
|-------------------------|------------------|---------------------------|---------|----------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 North                 | 0,21             | 0,66                      | 12,7    | 365                        | 635                  |                          |
| 2 East                  | 0,09             | 0,66                      | 11,8    | 904                        | 602                  |                          |
| 3 South                 | 0,17             | 0,66                      | 22,5    | 1282                       | 3198                 |                          |
| 4 West                  | 0,10             | 0,66                      | 1,0     | 907                        | 59                   |                          |
| 5 Horizontal            | 0,40             | 0,00                      | 0,0     | 1627                       | 0                    |                          |
| 6 Sun Opaque Areas      |                  |                           |         |                            | 567                  |                          |

**Available Solar Heat Gains Q<sub>S</sub>** Total: **5061** kWh/a, **37,2** kWh/(m²a)

**Internal Heat Gains Q<sub>i</sub>** **0,024** kWh/d \* **365** d/a \* **2,1** W/m² \* **136,0** m² = **2502** kWh/a, **18,4** kWh/(m²a)

**Sum Heat Loads Q<sub>F</sub>** **Q<sub>S</sub> + Q<sub>i</sub> = 7563** kWh/a, **55,6** kWh/(m²a)

Ratio of Losses to Free Heat Gains **Q<sub>L</sub> / Q<sub>F</sub> = 2,89**

Utilisation Factor Heat Losses **η<sub>0</sub> = 30%**

**Useful Heat Losses Q<sub>V,n</sub>** **η<sub>0</sub> \* Q<sub>L</sub> = 6513** kWh/a, **47,9** kWh/(m²a)

**Useful Cooling Demand Q<sub>K</sub>** **Q<sub>F</sub> - Q<sub>V,n</sub> = 1050** kWh/a, **8** kWh/(m²a)

**Limiting Value** **15** kWh/(m²a) Requirement met? **yes**

Anexo B.18 (1/1) – Folha de cálculo “Cooling Units”

COMPRESSOR COOLING UNITS

|           |                            |  |                                |                            |  |
|-----------|----------------------------|--|--------------------------------|----------------------------|--|
| Climate:  | PT-Aveiro                  |  | Interior Temperature Summer:   | 25 °C                      |  |
| Building: | Moradia Unifamiliar Aveiro |  | Building Type/Use:             | Moradia Unifamiliar Aveiro |  |
|           |                            |  | Treated Floor Area $A_{TFA}$ : | 136,0 m²                   |  |

|  |                  |           |                   |   |     |
|--|------------------|-----------|-------------------|---|-----|
|  | Effective        | $A_{TFA}$ | Clear Room Height |   |     |
|  | Air Volume $V_v$ | m²        | m                 | = | m³  |
|  |                  | 136       | 2,50              | = | 340 |

|                                                  |                |                          |   |       |
|--------------------------------------------------|----------------|--------------------------|---|-------|
|                                                  | $n_{V,system}$ | $\Phi_{HR}$              |   |       |
|                                                  | 1/h            | Efficiency Humidity Rec. |   | 1/h   |
| Hygically Effective Mech. Air Change Rate Summer | 0,410          | (1 - )                   | = | 0,410 |

|                                       |             |             |                     |                        |         |
|---------------------------------------|-------------|-------------|---------------------|------------------------|---------|
|                                       | $n_{V,nat}$ | $n_{V,Res}$ | $n_{Night,Windows}$ | $n_{Night,mechanical}$ |         |
|                                       | 1/h         | 1/h         | 1/h                 | 1/h                    |         |
| Direct Ambient Air Change Rate Summer | 0,400       | 0,000       | 0,894               | 0,000                  | = 1,294 |

|                                |  |       |      |     |
|--------------------------------|--|-------|------|-----|
| Ambient Air Change Rate Summer |  | Total | 1,70 | 1/h |
|--------------------------------|--|-------|------|-----|

☐ **Supply Air Cooling**  
 check as appropriate  
 On/Off Mode (check as appropriate)  
 Minimum Temperature of Cooling Coil Surface °C

☐ **Recirculation Cooling**  
 check as appropriate  
 On/Off Mode (check as appropriate)  
 Minimum Temperature of Cooling Coil Surface °C  
 Volume Flow Rate m³/h

☐ **Additional Dehumidification**  
 check as appropriate  
 Max. Humidity Ratio g/kg  
 Humidity Sources g/(m³h)  
 Humidity Capacity Building g/(g/kg)/m²  
 Humidity at Beginning of Cooling Period g/kg

☐ **Panel Cooling**  
 check as appropriate

|                                    |          |        |           |
|------------------------------------|----------|--------|-----------|
| <b>Useful Cooling Demand</b>       | sensible | latent |           |
| of which                           | 7,7      | 0,00   |           |
| <b>Supply Air Cooling</b>          |          |        | kWh/(m²a) |
| <b>Recirculation Cooling</b>       |          |        | kWh/(m²a) |
| <b>Dehumidification</b>            |          |        | kWh/(m²a) |
| <b>Remaining for Panel Cooling</b> |          |        | kWh/(m²a) |
| <b>Total</b>                       | 0,0      | 0,0    | kWh/(m²a) |
| <b>Unsatisfied Demand</b>          | 7,7      | 0,0    | kWh/(m²a) |

|  |  |                   |
|--|--|-------------------|
|  |  | Sensible Fraction |
|  |  |                   |



Anexo B.19 (1/1) – Folha de cálculo “Cooling Load”

COOLING LOAD

|                                                                                |  |                                                                   |  |                                 |  |
|--------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------|--|
| Building: <b>Moradia Unifamiliar Aveiro</b>                                    |  | Building Type/Use: <b>Moradia Unifamiliar</b>                     |  | Interior Temperature: <b>25</b> |  |
| Spec. Capacity: <b>60</b> Wh/(m <sup>2</sup> K) (Enter in "Summer" worksheet.) |  | Treated Floor Area A <sub>TFA</sub> : <b>136,0</b> m <sup>2</sup> |  |                                 |  |
| Climate (Cooling Load): <b>PT-Aveiro</b>                                       |  |                                                                   |  |                                 |  |

| Ambient Air                        |   | Sky            |  | Ground  |       | Radiation: |      | North    |      | East |  | South |  | West |  | Horizontal |  |
|------------------------------------|---|----------------|--|---------|-------|------------|------|----------|------|------|--|-------|--|------|--|------------|--|
| Design Temperature: <b>30,6</b> °C |   | 23,8 °C        |  | 24,2 °C |       |            |      | 90       |      | 201  |  | 209   |  | 201  |  | 368        |  |
| Area                               |   | m <sup>2</sup> |  | U-Value |       | Factor     |      | TempDiff |      | K    |  | W     |  |      |  |            |  |
| 1. Exterior Wall - Ambie           | A | 118,6          |  |         | 0,270 |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 2. Exterior Wall - Groun           | B |                |  |         |       |            | 1,00 |          | -0,8 |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 3. Roof/Ceiling - Ambie            | A | 78,0           |  |         | 0,211 |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 4. Floor slab / basement           | B | 69,2           |  |         | 0,409 |            | 1,00 |          | -0,8 |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 5.                                 | A |                |  |         |       |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 6.                                 | A |                |  |         |       |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 7. Paredes Interiores              | X | 15,5           |  |         | 0,267 |            | 0,92 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 8. Windows                         | A | 48,1           |  |         | 1,553 |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 9. Exterior Door                   | A |                |  |         |       |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 10. Exterior TB (length/m)         | A | 235,1          |  |         | 0,081 |            | 1,00 |          | 5,6  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 11. Perimeter TB (length/m)        | P |                |  |         |       |            | 1,00 |          | -0,8 |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 12. Ground TB (length/m)           | B |                |  |         |       |            | 1,00 |          | -0,8 |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 13. House/DU Partition Wall        | I |                |  |         |       |            | 1,00 |          | 3,0  |      |  |       |  |      |  |            |  |
| 14. Radiation Correction           |   |                |  |         |       |            |      |          |      |      |  |       |  |      |  |            |  |

Transmission Heat Losses P<sub>T</sub>

|             |            |                      |            |   |     |
|-------------|------------|----------------------|------------|---|-----|
| Lambert W/K | TempDiff K | L <sub>Sky</sub> W/K | TempDiff K |   |     |
| -5,2        | 5,6        | 5,0                  | -1,2       |   |     |
| Total       |            |                      |            | = | 759 |

Ventilation System:

|                                      |                     |                |
|--------------------------------------|---------------------|----------------|
| A <sub>TFA</sub> m <sup>2</sup>      | Clear Room Height m | m <sup>3</sup> |
| 136,0                                | 2,50                | 340            |
| Effective Air Volume, V <sub>V</sub> |                     |                |

Additional Summer Ventilation:

|                                                          |                               |          |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| Window Night Ventilation, Manual                         | Corresponding Air Change Rate | 0,56 1/h |
| Mechanical, Automatically Controlled Ventilation         | Minimum Indoor Temperature    | 22,0 °C  |
| Heat Removal Cooling Design Day (from Cooling worksheet) | Window Ventilation            | -1,1     |
|                                                          | Automatic Night Ventilation   | 0,0      |

Ventilation Heat Load P<sub>V</sub>

|       |  |  |  |   |     |
|-------|--|--|--|---|-----|
| Total |  |  |  | = | 464 |
|-------|--|--|--|---|-----|

Heat Gain - Solar Heat Load, P<sub>S</sub>

|                         |                     |                           |                  |                            |                  |
|-------------------------|---------------------|---------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Orientation of the Area | Area m <sup>2</sup> | g-Value (perp. radiation) | Reduction Factor | Radiation W/m <sup>2</sup> | P <sub>S</sub> W |
| 1. North                | 12,7                | 0,7                       | 0,21             | 90                         | 157              |
| 2. East                 | 11,8                | 0,7                       | 0,09             | 201                        | 134              |
| 3. South                | 22,5                | 0,7                       | 0,17             | 209                        | 521              |
| 4. West                 | 1,0                 | 0,7                       | 0,10             | 201                        | 13               |
| 5. Horizontal           | 0,0                 | 0,0                       | 0,40             | 368                        | 0                |
| 6. Sum Opaque Areas     |                     |                           |                  |                            | 121              |

Heat Gain - Solar Heat Load, P<sub>S</sub>

|       |  |  |  |   |     |
|-------|--|--|--|---|-----|
| Total |  |  |  | = | 946 |
|-------|--|--|--|---|-----|

Internal Heat Load P<sub>I</sub>

|                              |                                 |                  |
|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| Spec. Power W/m <sup>2</sup> | A <sub>TFA</sub> m <sup>2</sup> | P <sub>I</sub> W |
| 3,1                          | 136                             | 422              |

Cooling Load P<sub>C</sub>

|                                                                   |   |      |   |
|-------------------------------------------------------------------|---|------|---|
| P <sub>T</sub> + P <sub>V</sub> + P <sub>S</sub> + P <sub>I</sub> | = | 2590 | W |
|-------------------------------------------------------------------|---|------|---|

Specific Maximum Cooling Load P<sub>C</sub> / A<sub>EB</sub>

|  |   |      |                  |
|--|---|------|------------------|
|  | = | 19,0 | W/m <sup>2</sup> |
|--|---|------|------------------|

Minimal supply air temperature **5** °C

Supply air temperature without cooling θ<sub>Supply,Min</sub> **30,6** °C

Cooling capacity that is transportable through the supply air P<sub>SupplyAir,Max</sub>

|  |   |      |   |
|--|---|------|---|
|  | = | 1159 | W |
|--|---|------|---|

specific

|  |   |     |                  |
|--|---|-----|------------------|
|  | = | 8,5 | W/m <sup>2</sup> |
|--|---|-----|------------------|

Air conditioning over the supply air possible? **no**

Daily Temperature Swing due to Solar Load

|              |          |                                      |                                 |       |
|--------------|----------|--------------------------------------|---------------------------------|-------|
| Solar Load W | Time h/d | Spec. Capacity Wh/(m <sup>2</sup> K) | A <sub>TFA</sub> m <sup>2</sup> |       |
| 945,6        | 24       | 60                                   | 136                             | 2,8 K |

# Anexo B.20 (1/1) – Folha de cálculo “DHW + Distribution”

## HEAT DISTRIBUTION AND DHW SYSTEM

|                                                  |                    |
|--------------------------------------------------|--------------------|
| Building: Moradia Unifamiliar Aveiro             |                    |
| Interior Temperature:                            | 20 °C              |
| Building Type/Use: Moradia Unifamiliar Aveiro    |                    |
| Treated Floor Area $A_{TFA}$ :                   | 136 m <sup>2</sup> |
| Occupancy:                                       | 3,9 Pers           |
| Number of Residences:                            | 1                  |
| Annual Heating Demand $q_{heating}$ :            | 2033 kWh/a         |
| Length of Heating Period:                        | 126 d              |
| Average heating load Pave:                       | 0,7 kW             |
| Marginal Utilisability of Additional Heat Gains: | 73%                |

|                                                 |                                                         |                        |                        |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Space Heat Distribution</b>                  |                                                         |                        |                        |
| Length of Distribution Pipes                    | $L_H$ (Project)                                         | 23,50                  | 3,22                   |
| Heat Loss Coefficient per m Pipe                | $\Psi$ (Project)                                        | 0,171                  | 0,171                  |
| Temperature of the Room Through Which the Pipes | $\vartheta_{x, Mechanical Room}$                        | 20                     | 12,0                   |
| Design Flow Temperature                         | $\vartheta_{dist, Flow, Design Value}$                  | 55,0                   | 55,0                   |
| Design System heating load                      | $P_{heating} (exist./calc.)$                            | 1,5                    | 1,5                    |
| Flow Temperature Control (check)                |                                                         | x                      | x                      |
| Design Return Temperature                       | $\vartheta_R$                                           | 45,0                   | 45,0                   |
| Annual Heat Emission per m of Plumbing          | $q_{HL}$                                                | 8                      | 13                     |
| Possible Utilization Factor of Released Heat    | $\eta_{G, HL}$                                          | 73%                    | 0%                     |
| Annual Losses                                   | $Q_{HL}$                                                | 54                     | 41                     |
| Specif. Losses                                  | $q_{HL}$                                                |                        |                        |
| Performance ratio of heat distribution          | $\epsilon_{a, HL}$                                      |                        |                        |
|                                                 |                                                         | Total 1,2,3            |                        |
|                                                 |                                                         | 94                     |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/a                  |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/(m <sup>2</sup> a) |                        |
|                                                 |                                                         | 0,7                    |                        |
|                                                 |                                                         | 105%                   |                        |
|                                                 |                                                         |                        |                        |
| <b>DHW: Standard Useful Heat</b>                |                                                         |                        |                        |
| DHW Consumption per Person and Day (60 °C)      | $V_{DHW}$ (Project or Average Value 25 Litres/Person/d) | 25,0                   | Litre/Person/d         |
| Average Cold Water Temperature of the Supply    | $\vartheta_{DW}$ Temperature of Drinking Water (10°)    | 16,6                   | °C                     |
| DHW Non-Electric Wash and Dish                  |                                                         | 0                      | kWh/a                  |
| Useful Heat - DHW                               | $Q_{DHW}$                                               | 1783                   | kWh/a                  |
| Specif. Useful Heat - DHW                       | $q_{DHW}$                                               |                        | kWh/(m <sup>2</sup> a) |
|                                                 |                                                         | 13,1                   |                        |
|                                                 |                                                         |                        |                        |
| <b>DHW Distribution and Storage</b>             |                                                         |                        |                        |
| Length of Circulation Pipes (Flow + Return)     | $L_{HS}$ (Project)                                      | 19,4                   | 3,4                    |
| Heat Loss Coefficient per m Pipe                | $\Psi$ (Project)                                        | 0,193                  | 0,193                  |
| Temperature of the Room Through Which the Pipes | $\vartheta_{x, Mechanical Room}$                        | 20                     | 12,0                   |
| Design Flow Temperature                         | $\vartheta_{dist, Flow, Design Value}$                  | 60,0                   | 60,0                   |
| Daily circulation period of operation.          | $t_{d, Circ}$ (Project)                                 | 18,0                   | 18,0                   |
| Design Return Temperature                       | $\vartheta_R$                                           | 55                     | 55                     |
| Circulation period of operation per year        | $t_{Circ}$                                              | 6570                   | 6570                   |
| Annual Heat Released per m of Pipe              | $q'_{Z}$                                                | 48                     | 58                     |
| Possible Utilization Factor of Released Heat    | $\eta_{G, DHW}$                                         | 25%                    | 0%                     |
| Annual Heat Loss from Circulation Lines         | $Q_Z$                                                   | 689                    | 197                    |
|                                                 |                                                         | Total 1,2,3            |                        |
|                                                 |                                                         | 886                    |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/a                  |                        |
| Total Length of Individual Pipes                | $L_{U, Individual}$                                     | 27,42                  |                        |
| Exterior Pipe Diameter                          | $d_{U, Pipe}$ (Project)                                 | 0,016                  |                        |
| Heat loss per tap opening                       | $q_{individual}$                                        | 0,1913                 |                        |
| Amount of tap openings per year                 | $n_{Tap}$                                               | 4255                   |                        |
| Annual Heat Loss                                | $Q_U$                                                   | 814                    |                        |
| Possible Utilization Factor of Released Heat    | $\eta_{G, U}$                                           | 25%                    |                        |
| Annual Heat Loss of Individual Pipes            | $Q_U$                                                   | 608                    |                        |
|                                                 |                                                         | Total 1,2,3            |                        |
|                                                 |                                                         | 608                    |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/a                  |                        |
| Average Heat Released From Storage              | $P_S$                                                   | 120                    |                        |
| Possible Utilization Factor of Released Heat    | $\eta_{G, S}$                                           | 0%                     |                        |
| Annual Heat Losses from Storage                 | $Q_S$                                                   | 1051                   |                        |
|                                                 |                                                         | Total 1,2,3            |                        |
|                                                 |                                                         | 1051                   |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/a                  |                        |
| Total Heat Losses of the DHW System             | $Q_{WL}$                                                | 2546                   |                        |
| Specif. Losses of the DHW System                | $q_{WL}$                                                |                        |                        |
| Performance ratio DHW-distribution + storage    | $\epsilon_{a, WL}$                                      | 242,8%                 |                        |
| Total Heating Demand of DHW system              | $Q_{DHW}$                                               | 4329                   |                        |
| Total Specif. Heating Demand of DHW System      | $q_{DHW}$                                               |                        |                        |
|                                                 |                                                         | Total 1,2,3            |                        |
|                                                 |                                                         | 4329                   |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/a                  |                        |
|                                                 |                                                         | kWh/(m <sup>2</sup> a) |                        |
|                                                 |                                                         | 31,8                   |                        |

## Anexo B.21 (1/1) – Folha de cálculo “SolarDHW”

**SOLAR HOT WATER GENERATION**

|           |                            |  |                                |                            |                |
|-----------|----------------------------|--|--------------------------------|----------------------------|----------------|
| Building: | Moradia Unifamiliar Aveiro |  | Building Type/Use:             | Moradia Unifamiliar Aveiro |                |
|           |                            |  | Treated Floor Area $A_{TFA}$ : | 136,0                      | m <sup>2</sup> |

**Solar Fraction with DHW demand including washing and dish-washing**

|                                               |             |      |                |                                    |
|-----------------------------------------------|-------------|------|----------------|------------------------------------|
| Heating Demand DHW                            | $q_{gDHW}$  | 4329 | kWh/a          | from DHW+Distribution worksheet    |
| Latitude:                                     |             | 40,6 | °              | from Climate Data worksheet        |
| Selection of collector from list (see below): |             | 8    |                | Selection: 8 Vacuum Tube Collector |
| Solar Collector Area                          |             | 5,70 | m <sup>2</sup> |                                    |
| Deviation from North                          |             | 180  | °              |                                    |
| Angle of Inclination from the Horizontal      |             | 35   | °              |                                    |
| Height of the Collector Field                 |             | 1,4  | m              |                                    |
| Height of Horizon                             | $h_{Hori}$  | 4,60 | m              |                                    |
| Horizontal Distance                           | $a_{Hori}$  | 7,00 | m              |                                    |
| Additional Reduction Factor Shading           | $r_{other}$ | 100% | %              |                                    |

|                         |     |                      |
|-------------------------|-----|----------------------|
| Occupancy               | 3,9 | Persons              |
| Specific Collector Area | 1,5 | m <sup>2</sup> /Pers |

**Estimated Solar Fraction of DHW Production**

|  |     |
|--|-----|
|  | 66% |
|--|-----|

**Solar Contribution to Useful Heat**

|      |       |    |                        |
|------|-------|----|------------------------|
| 2843 | kWh/a | 21 | kWh/(m <sup>2</sup> a) |
|------|-------|----|------------------------|

**Secondary Calculation of Storage Losses**

|                                                 |     |                                   |
|-------------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| Selection of DHW storage from list (see below): | 6   | Selection: 6 Simple Solar Storage |
| Total Storage Volume                            | 200 | litre                             |
| Volume Standby Part (above)                     | 60  | litre                             |
| Volume Solar Part (below)                       | 140 | litre                             |
| Specific Heat Losses Storage (total)            | 3,0 | W/K                               |
| Typical Temperature DHW                         | 60  | °C                                |
| Room Temperature                                | 20  | °C                                |
| Storage Heat Losses (Standby Part Only)         | 26  | W                                 |
| Total Storage Heat Losses                       | 120 | W                                 |



# Anexo B.23 (1/1) – Folha de cálculo “Aux Electricity”

| Building: Moradia Unifamiliar Aveiro |     |    | AUXILIARY ELECTRICITY         |      |      |                                     |      |           |  |  |
|--------------------------------------|-----|----|-------------------------------|------|------|-------------------------------------|------|-----------|--|--|
| Living Area                          | 136 | m² | Operation Vent. System Winter | 3,03 | kh/a | Primary Energy Factor - Electricity | 2,6  | kWh/kWh   |  |  |
| Heating Period                       | 126 | d  | Operation Vent. System Summer | 5,73 | kh/a | Annual Space Heating Demand         | 15   | kWh/(m²a) |  |  |
| Air Volume                           | 340 | m³ | Air Change Rate               | 0,41 | h⁻¹  | Boiler Rated Power                  | 15   | kW        |  |  |
| Dwelling Units                       | 1   | HH | Defrosting HX from            |      | °C   | DHW System Heating Demand           | 4329 | kWh/a     |  |  |
| Enclosed Volume                      | 340 | m³ |                               |      |      | Design Flow Temperature             | 55   | °C        |  |  |

| Column Nr.                                                                                       | 1           | 2                                  | 3                      | 4                  | 5                   | 6              | 7                          | 8                          | 9                               | 10                       | 11                            |                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Application                                                                                      | Used? (1/0) | Within the Thermal Envelope? (1/0) | Nom Demand             | Utilization Factor | Period of Operation | Reference Size | Electricity Demand (kWh/a) | Available as Interior Heat | Used During Time Period (kWh/a) | Internal Heat Source (W) | Primary Energy Demand (kWh/a) |                                                                                |
| <b>Ventilation System</b>                                                                        |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Winter Ventilation                                                                               | 1           | 1                                  | 0,41                   | Wh/m³              | * 0,41              | h⁻¹            | * 3,0                      | kh/a                       | * 340                           | m³                       | = 172                         | considered in heat recovery efficiency<br>no summer contribution to IHG<br>448 |
| Summer Ventilation                                                                               | 1           | 1                                  | 0,41                   | Wh/m³              | * 0,41              | h⁻¹            | * 5,7                      | kh/a                       | * 340                           | m³                       | = 327                         |                                                                                |
| Defroster HX                                                                                     | 1           | 0                                  | 0                      | W                  | * 1,00              |                | * 0,1                      | kh/a                       | * 1                             |                          | = 0                           |                                                                                |
| <b>Heating System</b>                                                                            |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Controlled/Uncontrolled (1/0)                                                                    |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Enter the Rated Power of the Pump                                                                |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Circulation Pump                                                                                 | 0           | 0                                  | 54                     | W                  | * 1,0               |                | * 3,0                      | kh/a                       | * 1                             |                          | = 0                           | 1,0 / 3,03 = 0                                                                 |
| Boiler Electricity Consumption at 30% Load                                                       |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Aux. Energy - Heat. Boiler                                                                       | 1           | 0                                  | 55                     | W                  | * 1,00              |                | * 0,47                     | kh/a                       | * 1                             |                          | = 26                          |                                                                                |
| Aux. Energy - Wood fired/pellet boiler                                                           | 0           | 0                                  |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          | = 0                           | 0                                                                              |
| Data entries in worksheet Boiler. Auxiliary energy demand including possible drinking water prod |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| <b>DHW system</b>                                                                                |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Enter Average Power Consumption of Pump                                                          |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Circulation Pump                                                                                 | 1           | 0                                  | 28                     | W                  | * 1,00              |                | * 4,3                      | kh/a                       | * 1                             |                          | = 121                         | 0,6 / 8,76 = 0                                                                 |
| Enter the Rated Power of the Pump                                                                |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Storage Load Pump DHW                                                                            | 0           | 0                                  | 50                     | W                  | * 1,00              |                | * 0,3                      | kh/a                       | * 1                             |                          | = 0                           |                                                                                |
| Boiler Electricity Consumption at 100% Load                                                      |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| DHW Boiler Aux. Energy                                                                           | 1           | 0                                  | 165                    | W                  | * 1,00              |                | * 0,1                      | kh/a                       | * 1                             |                          | = 16                          | 43                                                                             |
| Enter the Rated Power of the Solar DHW Pump                                                      |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Solar Aux Electricity                                                                            | 1           | 1                                  | 35                     | W                  | * 1,00              |                | * 1,8                      | kh/a                       | * 1                             |                          | = 62                          | 0,6 / 8,76 = 4                                                                 |
| <b>Misc. Aux. Electricity</b>                                                                    |             |                                    |                        |                    |                     |                |                            |                            |                                 |                          |                               |                                                                                |
| Misc. Aux. Electricity                                                                           | 0           | 0                                  |                        | kWh/a              | * 1,00              |                | * 1,0                      |                            | * 1                             | HH                       | = 0                           | 1,0 / 8,76 = 0                                                                 |
| <b>Total</b>                                                                                     |             |                                    |                        |                    |                     |                | 725                        |                            |                                 | 4                        | 1885                          |                                                                                |
| <b>Specific Demand</b>                                                                           | kWh/(m²a)   |                                    | Divide by Living Area: |                    |                     |                | 5,3                        |                            |                                 |                          | 13,9                          |                                                                                |

## Anexo B.24 (1/1) – Folha de cálculo “Boiler”

## EFFICIENCY OF HEAT GENERATION (GAS, OIL, WOOD)

|                                                                                               |                                                     |                       |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Building:                                                                                     | Morada Unifamiliar Aveiro                           | Building Type/Use:    | Morada Unifamiliar Aveiro |
| Treated Floor Area $A_{TFA}$ :                                                                | 136                                                 | m <sup>2</sup>        |                           |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                                      | (PE Value worksheet)                                | 100%                  |                           |
| Space Heating Demand + Distribution Losses                                                    | $Q_{H+Q_{HS}}$ (DHW+Distribution)                   | 2127                  | kWh                       |
| Solar Fraction for Space Heat                                                                 | $\eta_{Solar, H}$ (Separate Calculation)            | 0%                    |                           |
| Effective Annual Heating Demand                                                               | $Q_{H,W} = Q_H \cdot (1 - \eta_{Solar, H})$         | 2127                  | kWh                       |
| Space Heating Demand without Distribution Losses                                              | $Q_H$ (Verification sheet)                          | 2033                  | kWh                       |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                                | (PE Value worksheet)                                | 100%                  |                           |
| Total Heating Demand of DHW system                                                            | $Q_{gDHW}$ (DHW+Distribution)                       | 4329                  | kWh                       |
| Solar Fraction for DHW                                                                        | $\eta_{Solar, DHW}$ (SolarDHW worksheet)            | 66%                   |                           |
| Effective DHW Demand                                                                          | $Q_{DHW,W} = Q_{DHW} \cdot (1 - \eta_{Solar, DHW})$ | 1486                  | kWh                       |
| Boiler Type                                                                                   | (Project)                                           | Condensing boiler gas |                           |
| Primary Energy Factor                                                                         | (Data worksheet)                                    | 1,1                   | kWh/kWh                   |
| CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)                               |                                                     | 250                   | g/kWh                     |
| Useful Heat Provided                                                                          | $Q_{Use}$                                           | 3613                  | kWh/a                     |
| Max. Heating Power Required for Heating the Building                                          | $P_{BH}$ (Heating Load worksheet)                   | 1,22                  | kW                        |
| Length of the Heating Period                                                                  | $t_{HP}$                                            | 3030                  | h                         |
| Length of DHW Heating Period                                                                  | $t_{DHW}$                                           | 8760                  | h                         |
| Use characteristic values entered (check if appropriate)? <input checked="" type="checkbox"/> |                                                     |                       |                           |
| Design Output                                                                                 | $P_{nominal}$ (Rating Plate)                        | 15                    | kW                        |
| Installation of Boiler (Outdoor: 0, Indoor: 1)                                                |                                                     | 0                     |                           |
| Input Values (Oil and Gas Boiler)                                                             |                                                     |                       |                           |
| Boiler Efficiency at 30% Load                                                                 | $\eta_{30\%}$ (Manufacturer)                        | 90%                   |                           |
| Boiler Efficiency at Nominal Output                                                           | $\eta_{100\%}$ (Manufacturer)                       | 90%                   |                           |
| Standby Heat Loss Boiler at 70 °C                                                             | $Q_{B,70}$ (Manufacturer)                           | 2,0%                  |                           |
| Average Return Temperature Measured at 30% Load                                               | $\theta_{30\%}$ (Manufacturer)                      | 30                    | °C                        |
| Input Values (Biomass Heat Generator)                                                         |                                                     |                       |                           |
| Efficiency of Heat Generator in Basic Cycle                                                   | $\eta_{GZ}$ (Manufacturer)                          |                       |                           |
| Efficiency of Heat Generator in Constant Operation                                            | $\eta_{SO}$ (Manufacturer)                          |                       |                           |
| Average Fraction of Heat Output Released to Heating Circuit                                   | $Z_{HC,m}$ (Manufacturer)                           |                       |                           |
| Temperature Difference Betw. Power-On and Power-Off                                           | $\Delta\theta$ (Manufacturer)                       |                       | K                         |
| For Interior Installations: Area of Mechanical Room                                           | $A_{mech}$ (Project)                                |                       | m <sup>2</sup>            |
| Useful Heat Output per Basic Cycle                                                            | $Q_{N,GZ}$ (Manufacturer)                           |                       | kWh                       |
| Average Power Output of the Heat Generator                                                    | $Q_{N,m}$ (Manufacturer)                            |                       | kW                        |
| Heat generator without pellets conveyor                                                       |                                                     |                       |                           |
| Unit with regulation (no fan / no starting aid)                                               |                                                     |                       |                           |
| Heating energy demand for a basic machine cycle                                               | $Q_{HE,GZ}$ (Manufacturer)                          |                       | kWh                       |
|                                                                                               | $P_{el,SB}$ (Manufacturer)                          |                       | W                         |
| Utilisation Factor Heat Generator Heating Run                                                 | $\eta_{H,g,K} = \frac{t_g}{t_g + t_K}$              | 80%                   |                           |
| Utilisation Factor Heat Generator DHW Run                                                     | $\eta_{TW,g,K} = \frac{t_g}{t_g + t_K}$             | 67%                   |                           |
| Utilisation Factor Heat Generator DHW & Heating                                               | $\eta_{g,K}$                                        | 74%                   |                           |
| Final Energy Demand Space Heating                                                             | $Q_{Final, HE} = Q_{H,W} \cdot \eta_{H,g,K}$        | 2660                  | kWh/a                     |
| Final Energy Demand DHW                                                                       | $Q_{Final, DHW} = Q_{DHW,W} \cdot \eta_{TW,g,K}$    | 2227                  | kWh/a                     |
| Total Final Energy Demand                                                                     | $Q_{Final} = Q_{Final, DHW} + Q_{Final, HE}$        | 4887                  | kWh/a                     |
| Annual Primary Energy Demand                                                                  |                                                     | 5376                  | kWh/a                     |
| Annual CO <sub>2</sub> -Equivalent Emissions                                                  |                                                     | 1222                  | kg/(m <sup>2</sup> a)     |

## Anexo B.25 (1/1) – Folha de cálculo “PE value”

## PRIMARY ENERGY VALUE

| Building: <b>Moradia Unifamiliar Aveiro</b>                                         |                                           | Building Type/Use: <b>Moradia Unifamiliar Aveiro</b> |                                          |                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     |                                           | Treated Floor Area $A_{TFA}$ :                       | 136 m <sup>2</sup>                       |                                                                   |
|                                                                                     |                                           | Space Heating Demand incl. Distribution:             | 16 kWh/(m <sup>2</sup> a)                |                                                                   |
|                                                                                     |                                           | Useful Cooling Demand:                               | 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)                 |                                                                   |
|                                                                                     |                                           | Final Energy<br>kWh/(m <sup>2</sup> a)               | Primary Energy<br>kWh/(m <sup>2</sup> a) | Emissions<br>CO <sub>2</sub> -Equivalent<br>kg/(m <sup>2</sup> a) |
| <b>Electricity Demand (without Heat Pump)</b>                                       |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 0%                                                   | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 0%                                                   | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 2,6                                      | 680                                                               |
| Direct Electric Heating                                                             | $Q_{H,de}$                                | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| DHW Production, Direct Electric (without Wash&Dish)                                 | $Q_{DHW,de}$ (DHW+Distribution, SolarDHW) | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Electric Post heating DHW Wash&Dish                                                 | (Electricity, SolarDHW)                   | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Strombedarf Haushaltsgeräte                                                         | $Q_{E,HH}$ (Electricity worksheet)        | 14,4                                                 | 37,4                                     | 9,8                                                               |
| Electricity Demand - Auxiliary Electricity                                          |                                           | 5,3                                                  | 13,9                                     | 3,6                                                               |
| <b>Total Electricity Demand (without Heat Pump)</b>                                 |                                           | <b>19,7</b>                                          | <b>51,3</b>                              | <b>13,4</b>                                                       |
| <b>Heat Pump</b>                                                                    |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 0%                                                   | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 0%                                                   | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 2,6                                      | 680                                                               |
| Energy Carrier - Supplementary Heating                                              |                                           | Electricity                                          | 2,6                                      | 680                                                               |
| Annual Coefficient of Performance - Heat Pump                                       | Separate Calculation                      |                                                      |                                          |                                                                   |
| Total System Performance Ratio of Heat Generator                                    | Separate Calculation                      |                                                      |                                          |                                                                   |
| Electricity Demand Heat Pump (without DHW Wash&Dish)                                | $Q_{HP}$                                  | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish                                                  | (Electricity worksheet)                   | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| <b>Total Electricity Demand Heat Pump</b>                                           |                                           | <b>0,0</b>                                           | <b>0,0</b>                               | <b>0,0</b>                                                        |
| <b>Compact Heat Pump Unit</b>                                                       |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 0%                                                   | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 0%                                                   | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 2,6                                      | 680                                                               |
| Energy Carrier - Supplementary Heating                                              |                                           | Electricity                                          | 2,6                                      | 680                                                               |
| COP Heat Pump Heating                                                               | (Compact worksheet)                       | 0,0                                                  |                                          |                                                                   |
| COP Heat Pump DHW                                                                   | (Compact worksheet)                       | 0,0                                                  |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator (Verification)                                  | (Compact worksheet)                       |                                                      |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator (Planning)                                      | (Compact worksheet)                       |                                                      |                                          |                                                                   |
| Electricity Demand Heat Pump (without DHW Wash&Dish)                                | $Q_{HP}$ (Compact worksheet)              | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish                                                  | (Compact worksheet)                       | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| <b>Total Compact Unit</b>                                                           |                                           | <b>0,0</b>                                           | <b>0,0</b>                               | <b>0,0</b>                                                        |
| <b>HP Combination: 2 independent HP for heating and WW see "HP Combi" worksheet</b> |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 0%                                                   | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 0%                                                   | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 2,6                                      | 680                                                               |
| Energy Carrier - Supplementary Heating                                              |                                           | Electricity                                          | 2,6                                      | 680                                                               |
| COP Heat Pump for Heating                                                           | (Compact worksheet)                       | 0,0                                                  |                                          |                                                                   |
| COP Heat Pump for DHW                                                               | (Compact worksheet)                       | 0,0                                                  |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator (Verification)                                  | (Compact worksheet)                       |                                                      |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator (Planning)                                      | (Compact worksheet)                       |                                                      |                                          |                                                                   |
| Electricity Demand Heat Pump (without DHW Wash&Dish)                                | $Q_{HP}$ (Compact worksheet)              | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish                                                  | (Compact worksheet)                       | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| <b>Total Combined HP</b>                                                            |                                           | <b>0,0</b>                                           | <b>0,0</b>                               | <b>0,0</b>                                                        |
| <b>Boiler</b>                                                                       |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 100%                                                 | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 100%                                                 | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 1,1                                      | 250                                                               |
| Boiler Type                                                                         | (Boiler worksheet)                        | Condensing boiler gas                                |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator                                                 | (Boiler worksheet)                        | 1,35%                                                |                                          |                                                                   |
| Annual Energy Demand (without DHW Wash&Dish)                                        | (Boiler worksheet)                        | 35,9                                                 | 39,5                                     | 9,0                                                               |
| Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish                                                  | (Electricity worksheet)                   | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| <b>Total Heating Oil/Gas/Wood</b>                                                   |                                           | <b>35,9</b>                                          | <b>39,5</b>                              | <b>9,0</b>                                                        |
| <b>District Heat</b>                                                                |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 0%                                                   | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 0%                                                   | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 0,0                                      | 0                                                                 |
| Heat Source                                                                         | (District Heat worksheet)                 |                                                      |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator                                                 | (District Heat worksheet)                 | 0%                                                   |                                          |                                                                   |
| Heating Demand District Heat (without DHW Wash&Dish)                                | (District Heat worksheet)                 | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish                                                  | (Blatt Strom)                             | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| <b>Total District Heat</b>                                                          |                                           | <b>0,0</b>                                           | <b>0,0</b>                               | <b>0,0</b>                                                        |
| <b>Other</b>                                                                        |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Space Heating Demand                                            | (Project)                                 | 0%                                                   | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
| Covered Fraction of DHW Demand                                                      | (Project)                                 | 0%                                                   | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 0,2                                      | 55                                                                |
| Heat Source                                                                         | (Project)                                 | Wood                                                 |                                          |                                                                   |
| Performance Ratio of Heat Generator                                                 | (Project)                                 | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Annual Energy Demand, Space Heating                                                 |                                           | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Annual Energy Demand, DHW (without DHW Wash&Dish)                                   |                                           | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Non-Electric Demand, DHW Wash&Dish                                                  | (Blatt Strom)                             | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| Non-Electric Demand Cooking/Drying (Gas)                                            | (Blatt Strom)                             | 0,0                                                  | 0,0                                      | 0,0                                                               |
| <b>Total - Other</b>                                                                |                                           | <b>0,0</b>                                           | <b>0,0</b>                               | <b>0,0</b>                                                        |
| <b>Cooling with Electric Heat Pump</b>                                              |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
| Covered Fraction of Cooling Demand                                                  | (Project)                                 | 100%                                                 | PE Value                                 | CO <sub>2</sub> -Emissions Factor (CO <sub>2</sub> -Equivalent)   |
|                                                                                     |                                           |                                                      | kWh/kWh                                  | g/kWh                                                             |
|                                                                                     |                                           |                                                      | 2,6                                      | 680                                                               |
| Heat Source                                                                         |                                           | Electricity                                          |                                          |                                                                   |
| Annual coefficient of performance cooling                                           |                                           | 3,2                                                  |                                          |                                                                   |
| <b>Energy Demand Space Cooling</b>                                                  |                                           | <b>0,0</b>                                           | <b>0,0</b>                               | <b>0,0</b>                                                        |
| <b>Heating, Cooling, DHW, Auxiliary and Household Electricity</b>                   |                                           |                                                      |                                          |                                                                   |
|                                                                                     |                                           | 55,6                                                 | 90,8                                     | 22,4                                                              |
| <b>Total PE Value</b>                                                               |                                           | <b>90,8</b>                                          | kWh/(m <sup>2</sup> a)                   |                                                                   |
| <b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>                                    |                                           | <b>22,4</b>                                          | kg/(m <sup>2</sup> a)                    | (Yes/No)                                                          |
| <b>Primary Energy Requirement</b>                                                   |                                           | <b>120</b>                                           | kWh/(m <sup>2</sup> a)                   | <b>yes</b>                                                        |





Anexo C (1/7)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Gesso projectado 2,0 cm</p> <p>Bloco térmico de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Parede exterior 1<br/>PE 1</p>                                                                                                  | <p>Revestimento cerâmico 1,5 cm</p> <p>Bloco térmico de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Parede exterior 2<br/>PE 2</p>                                                                                                  |
| <p>Gesso projectado 2,0 cm</p> <p>Bloco térmico de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>Revestimento a madeira (fachada ventilada)</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Parede exterior 3<br/>PE 3</p>                                                | <p>Revestimento cerâmico de 1,5 cm</p> <p>Bloco térmico de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>Revestimento a madeira (fachada ventilada)</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Parede exterior 4<br/>PE 4</p>                                             |
| <p>Gesso projectado 2,0 cm</p> <p>Pano de betão de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Ponte térmica plana exterior 1 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 1</p>                                                   | <p>Revestimento cerâmico 1,5 cm</p> <p>Pano de betão de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Ponte térmica plana exterior 2 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 2</p>                                                   |
| <p>Gesso projectado 2,0 cm</p> <p>Pano de betão de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>Revestimento a madeira (fachada ventilada)</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Ponte térmica plana exterior 3 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 3</p> | <p>Revestimento cerâmico 1,5 cm</p> <p>Pano de betão de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco exterior de 1,5 cm</p> <p>Revestimento a madeira (fachada ventilada)</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Ponte térmica plana exterior 4 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPe 4</p> |
| <p>Gesso projectado 2,0 cm</p> <p>Bloco térmico de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>GARAGEM</p> <p>Parede interior 1<br/>PI 1</p>                                                                                                            | <p>Revestimento cerâmico 1,5 cm</p> <p>Bloco térmico de 25 cm</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 10 cm</p> <p>Reboco de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>GARAGEM</p> <p>Parede interior 2<br/>PI 2</p>                                                                                                            |

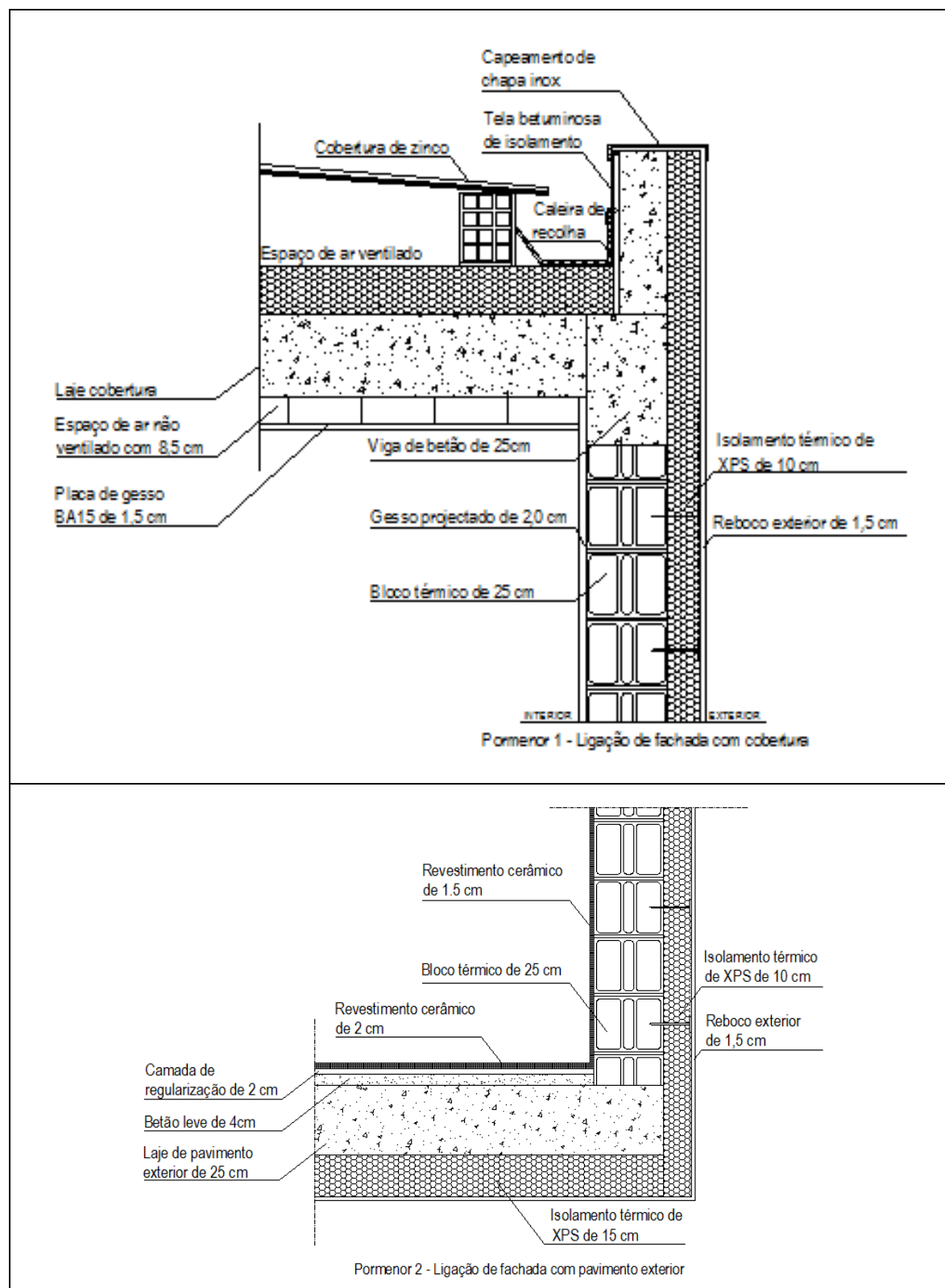
## Anexo C (2/7)

|                                                                     |                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <p>Parede interior 3 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPi 1</p> | <p>Parede interior 4 - zona de pilar e talão de viga<br/>PTPi 2</p> |
| <p>Parede interior à fracção autónoma 1<br/>PI FA 1</p>             | <p>Parede interior à fracção autónoma 2<br/>PI FA 2</p>             |
| <p>Parede interior à fracção autónoma 3<br/>PI FA 3</p>             | <p>Parede interior à fracção autónoma 4<br/>PI FA 4</p>             |
| <p>Parede interior à fracção autónoma 5<br/>PI FA 5</p>             | <p>Laje de pavimento exterior 1<br/>LPE 1</p>                       |

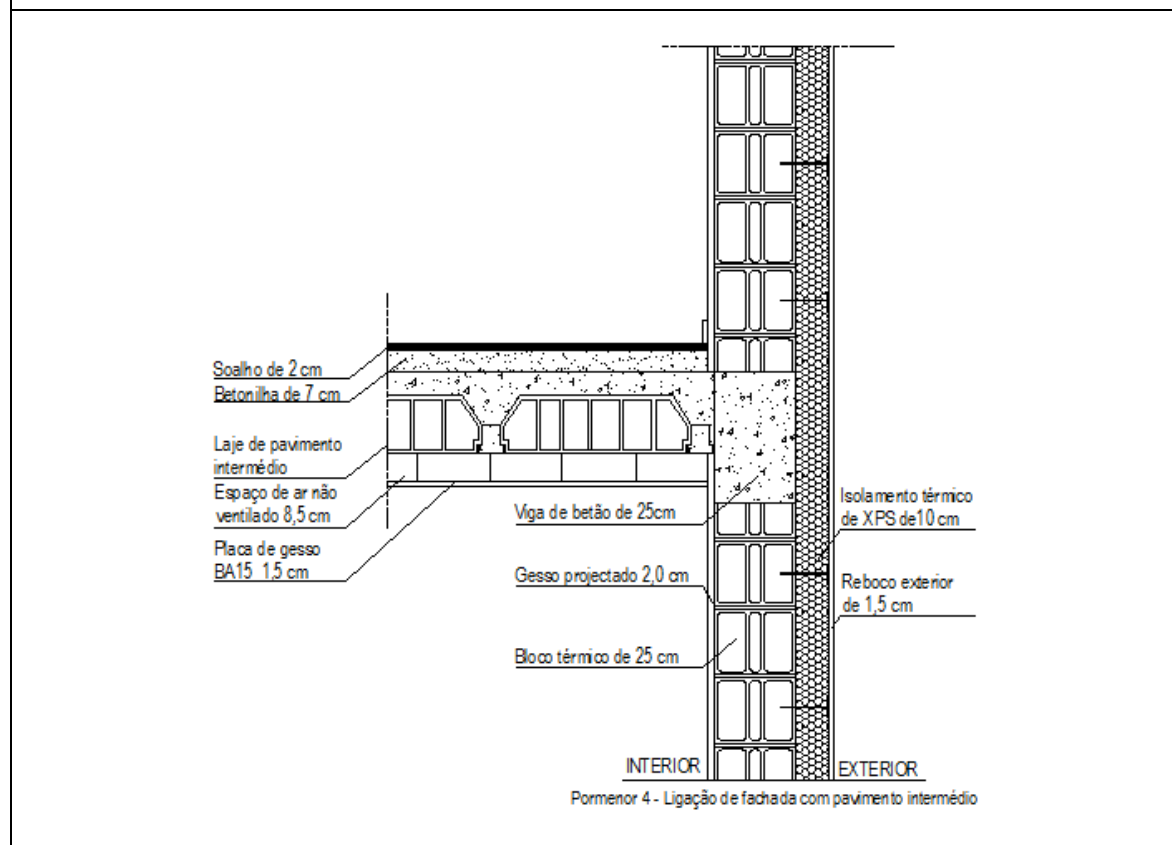
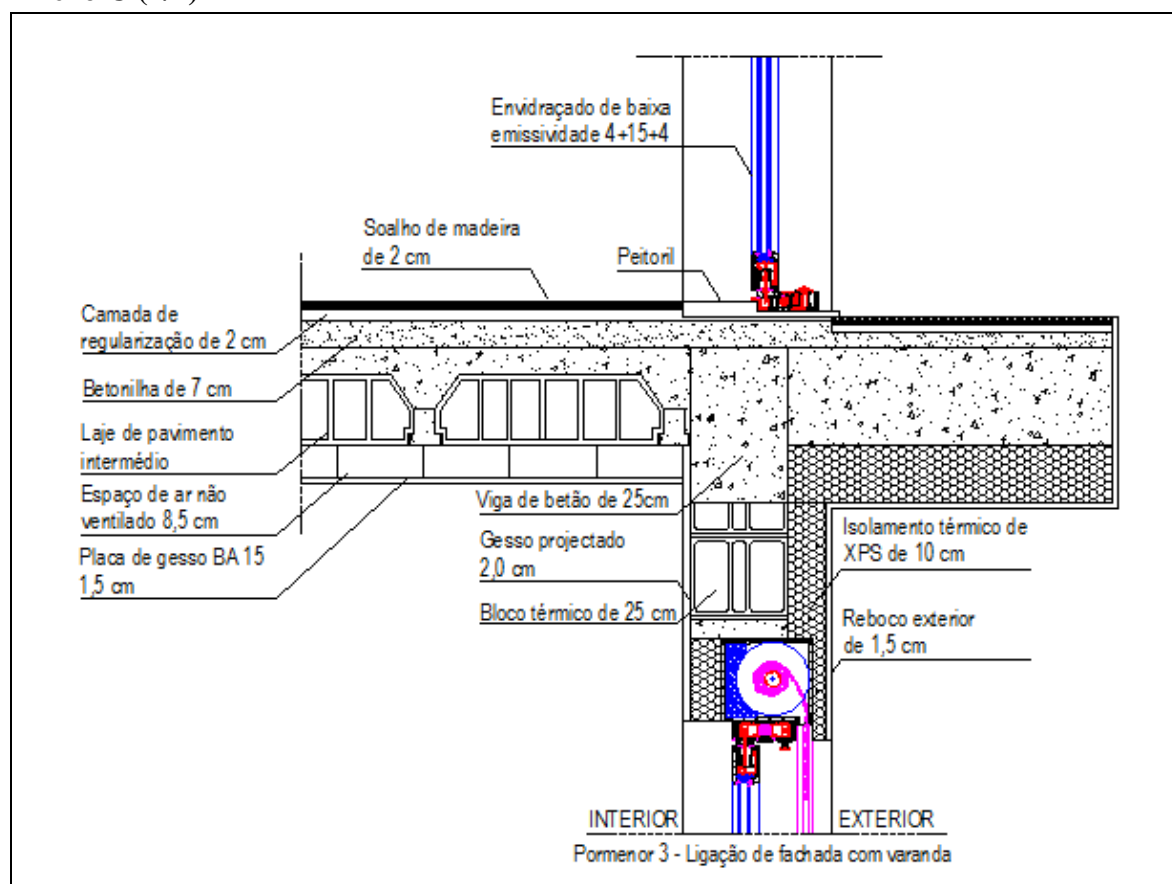
Anexo C (2/7)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Revestimento cerâmico de 2,0 cm</p> <p>Camada de regularização 2,0 cm</p> <p>Betão leve 4,0 cm</p> <p>Laje maciça de betão de 25 cm</p> <p>Isolante térmico XPS de 15 cm</p> <p>Reboco de 1,5 cm</p> <p>INTERIOR</p> <p>EXTERIOR</p> <p>Laje de pavimento exterior 2<br/>LPE 2</p>         | <p>Camada de Regularização 3,0 cm</p> <p>Betão leve 7 cm</p> <p>Laje aligeirada 21+4 cm blocos cerâmicos</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 6 cm</p> <p>Soalho de madeira 2 cm</p> <p>ESPAÇO ÚTIL</p> <p>DESVÃO SANITÁRIO</p> <p>Laje de pavimento interior 1<br/>LPI 1</p>       |
| <p>Camada de Regularização 3,0 cm</p> <p>Betão leve 7 cm</p> <p>Laje aligeirada 21+4 cm blocos cerâmicos</p> <p>Isolamento térmico de XPS de 6 cm</p> <p>ESPAÇO ÚTIL</p> <p>DESVÃO SANITÁRIO</p> <p>Laje de pavimento interior 2<br/>LPI 2</p>                                                | <p>COBERTURA DE ZINCO</p> <p>Espaço de ar ventilado</p> <p>Isolante térmico XPS de 15 cm</p> <p>Espaço de ar não ventilado 8,5 cm</p> <p>Placa de gesso BA 15 1,5 cm</p> <p>Laje maciça de betão de 25 cm</p> <p>EXTERIOR</p> <p>INTERIOR</p> <p>Laje de cobertura 1<br/>LCE 1</p> |
| <p>COBERTURA DE ZINCO</p> <p>Espaço de ar ventilado</p> <p>Isolante térmico XPS de 15 cm</p> <p>Espaço de ar não ventilado 8,5 cm</p> <p>Placa de gesso BA 15 1,5 cm</p> <p>Laje aligeirada 21+4 cm blocos cerâmicos</p> <p>EXTERIOR</p> <p>INTERIOR</p> <p>Laje de cobertura 2<br/>LCE 2</p> | <p>Revestimento madeira 2,0 cm</p> <p>Laje de betão maciça de 15 cm</p> <p>Tecto estucado 1,5 cm</p> <p>ESPAÇO ÚTIL</p> <p>Laje de pavimento intermédio 3<br/>LI FA 3</p>                                                                                                          |
| <p>Camada de Regularização 3,0 cm</p> <p>Betão leve 20 cm</p> <p>Laje aligeirada 21+4 cm blocos cerâmicos</p> <p>Espaço de ar não ventilado 8,5 cm</p> <p>Placa de gesso BA 15 de 1,5 cm</p> <p>ESPAÇO ÚTIL</p> <p>Laje de pavimento intermédio 1<br/>LI FA 1</p>                             | <p>Camada de Regularização 3,0 cm</p> <p>Betão leve 20 cm</p> <p>Laje aligeirada 21+4 cm blocos cerâmicos</p> <p>Espaço de ar não ventilado 8,5 cm</p> <p>Placa de gesso BA 15 1,5 cm</p> <p>ESPAÇO ÚTIL</p> <p>Laje de pavimento intermédio 2<br/>LI FA 2</p>                     |

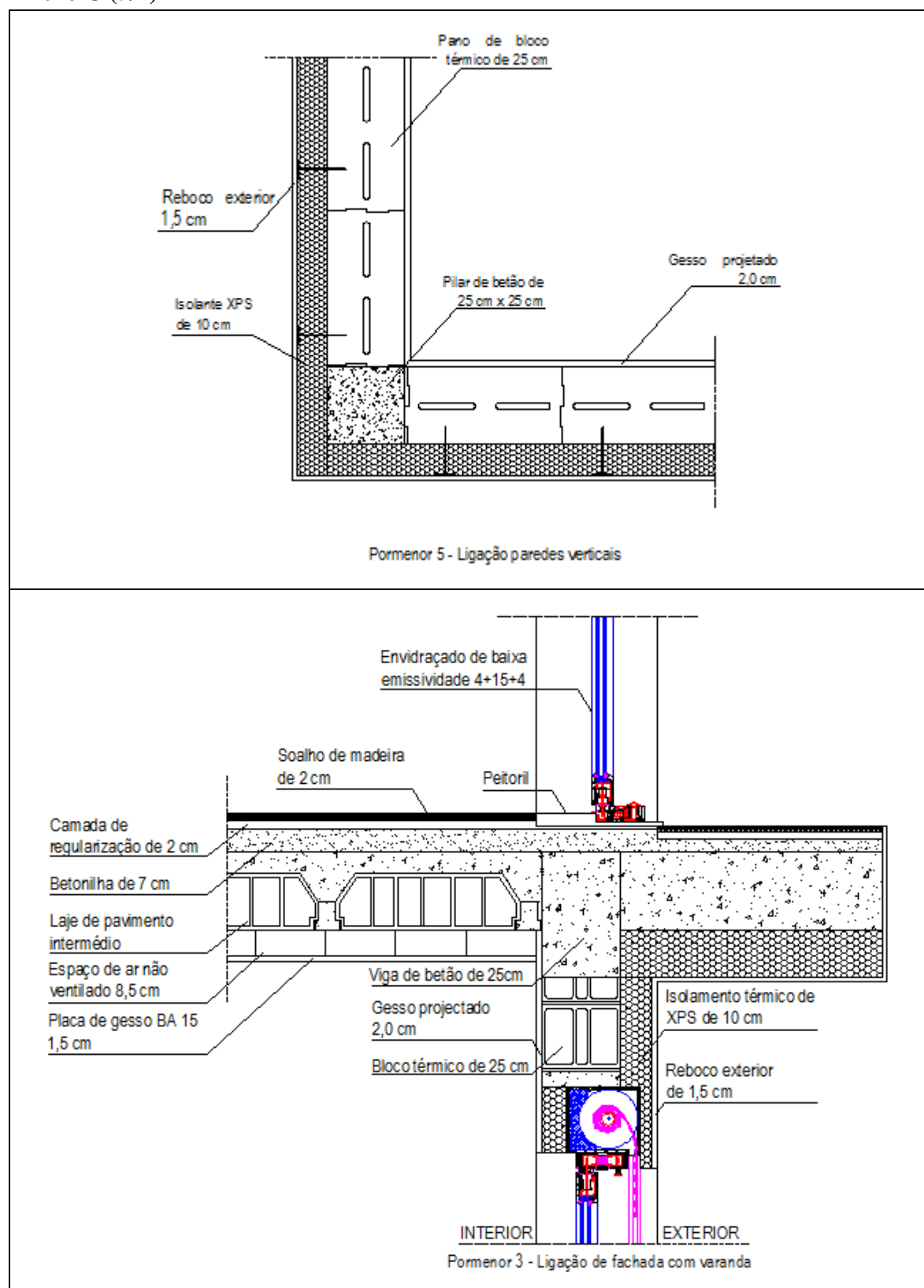
Anexo C (3/7)



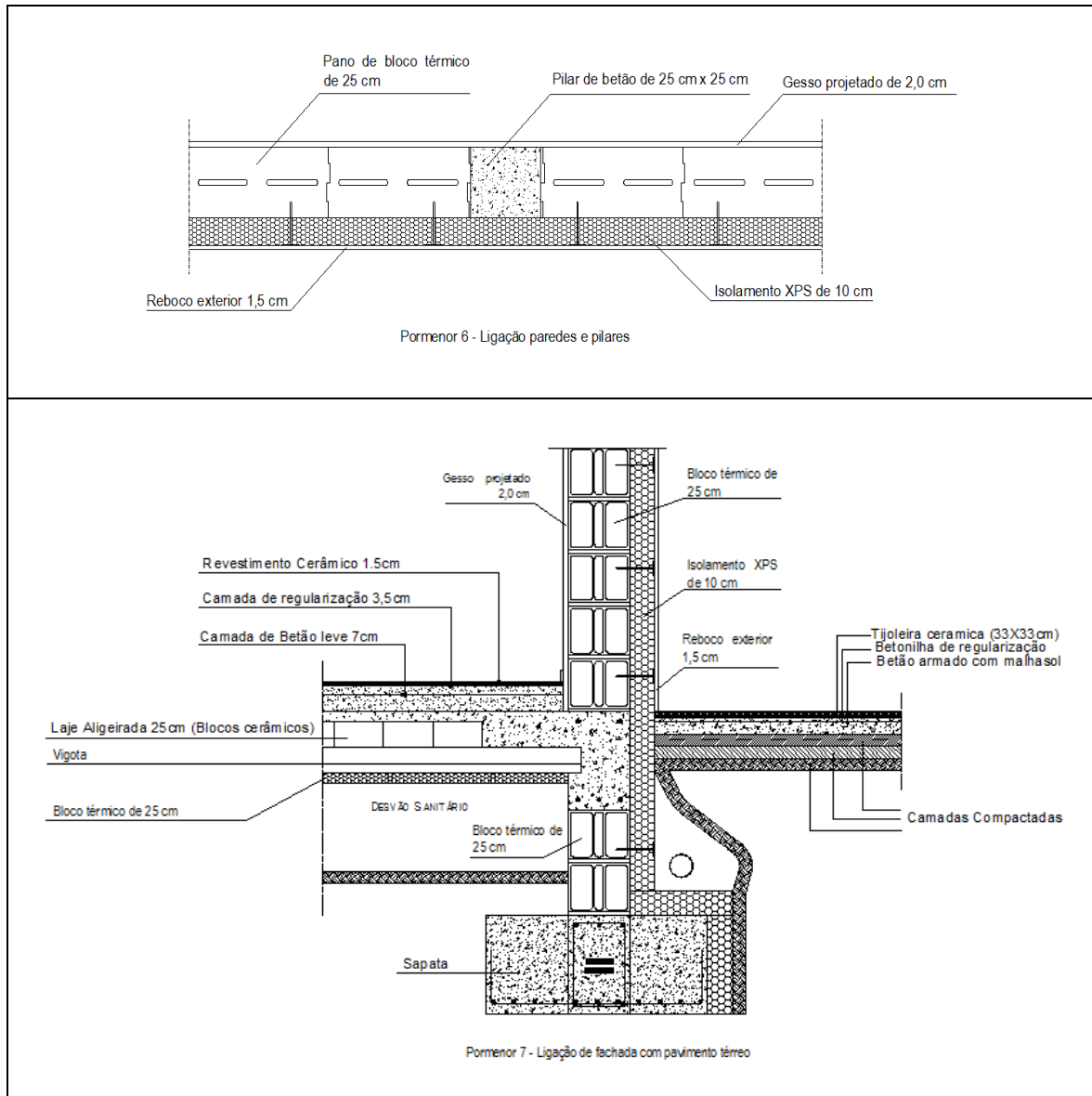
Anexo C (4/7)



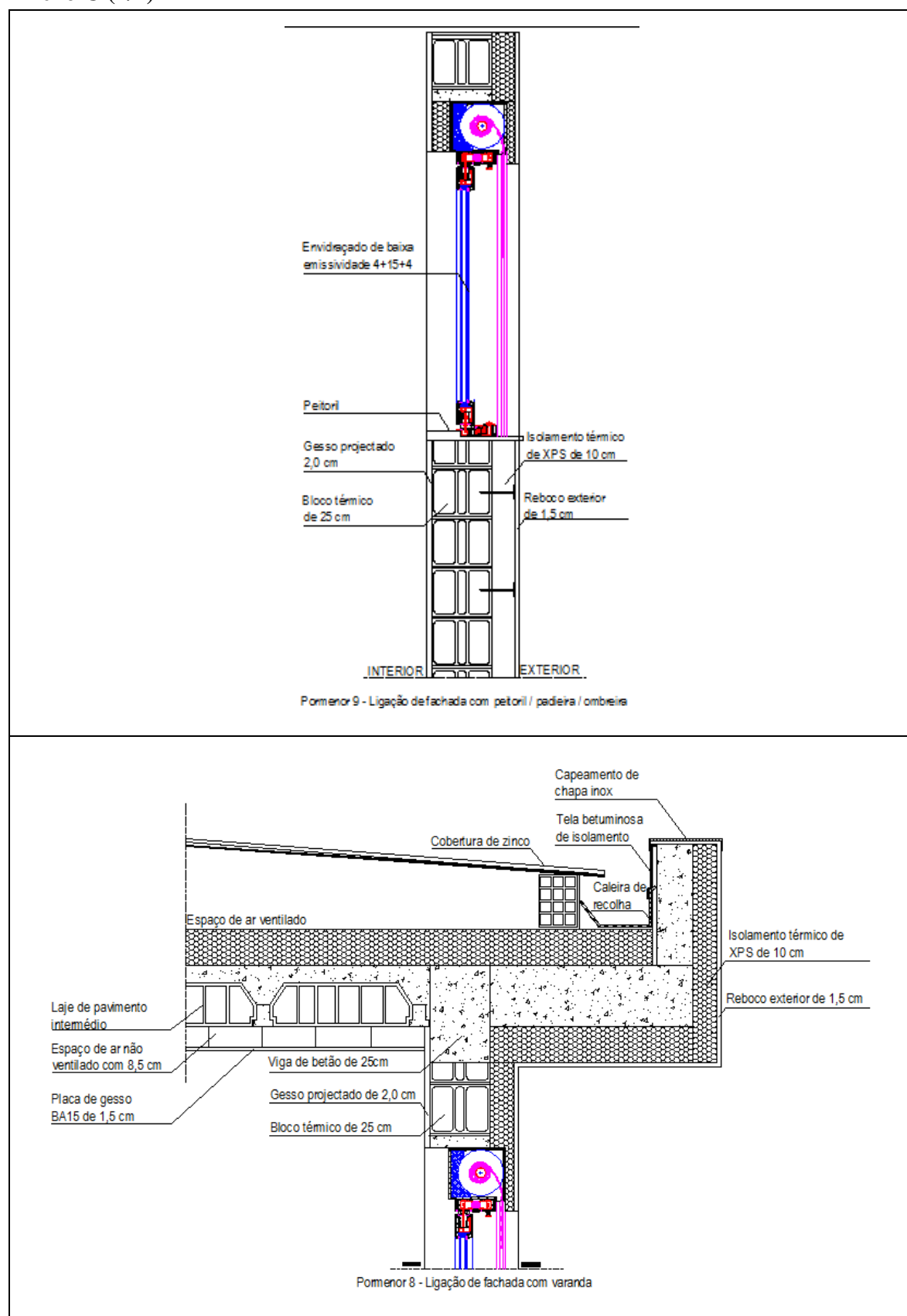
Anexo C (5/7)



Anexo C (6/7)

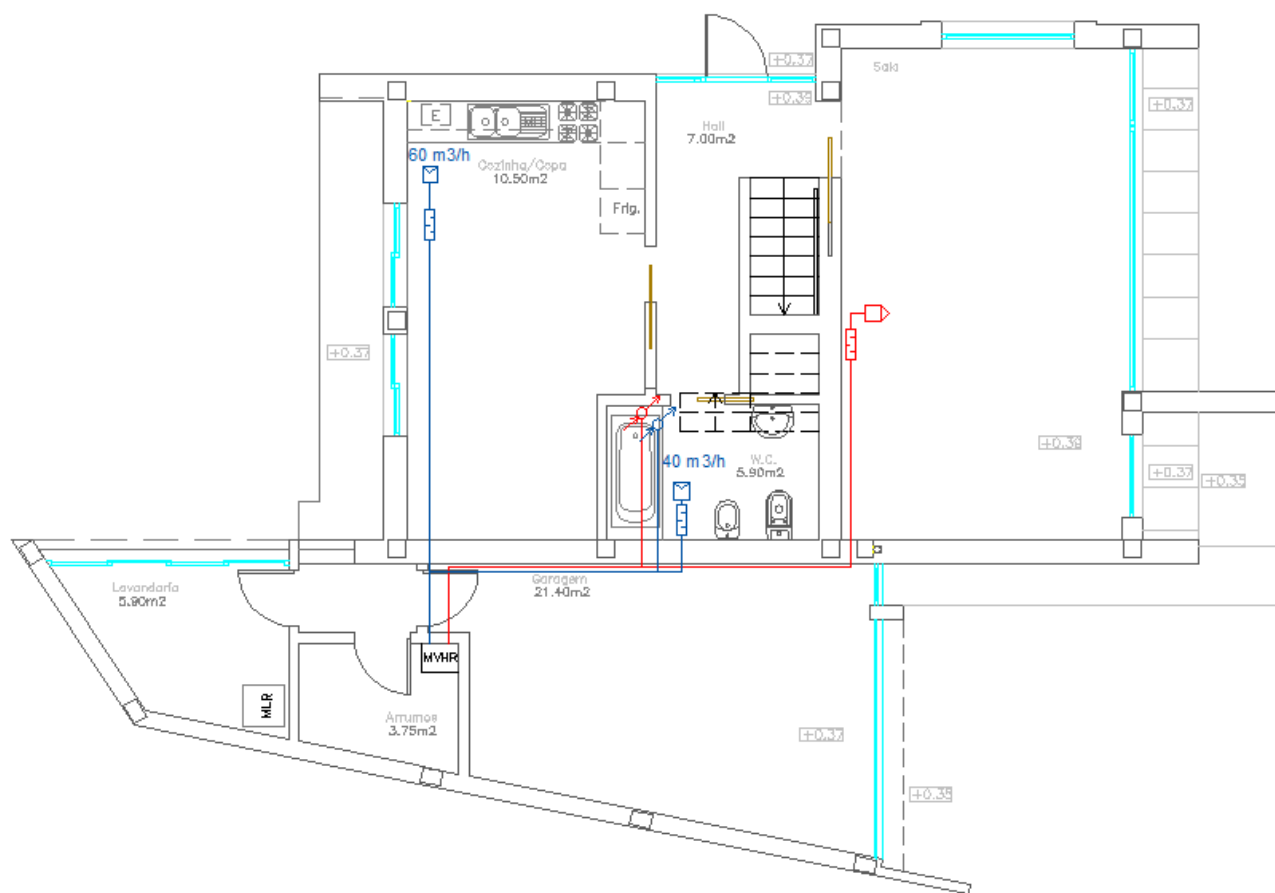


Anexo C (7/7)





Anexo D (1/2) – Planto do R/ chão (S/ escala)



PLANTA R/CHÃO

**Anexo D (2/2) – Planta do 1º Andar (S/ escala)**

